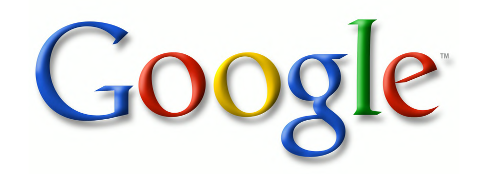
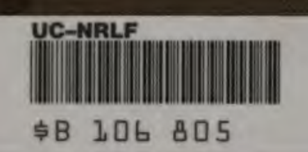


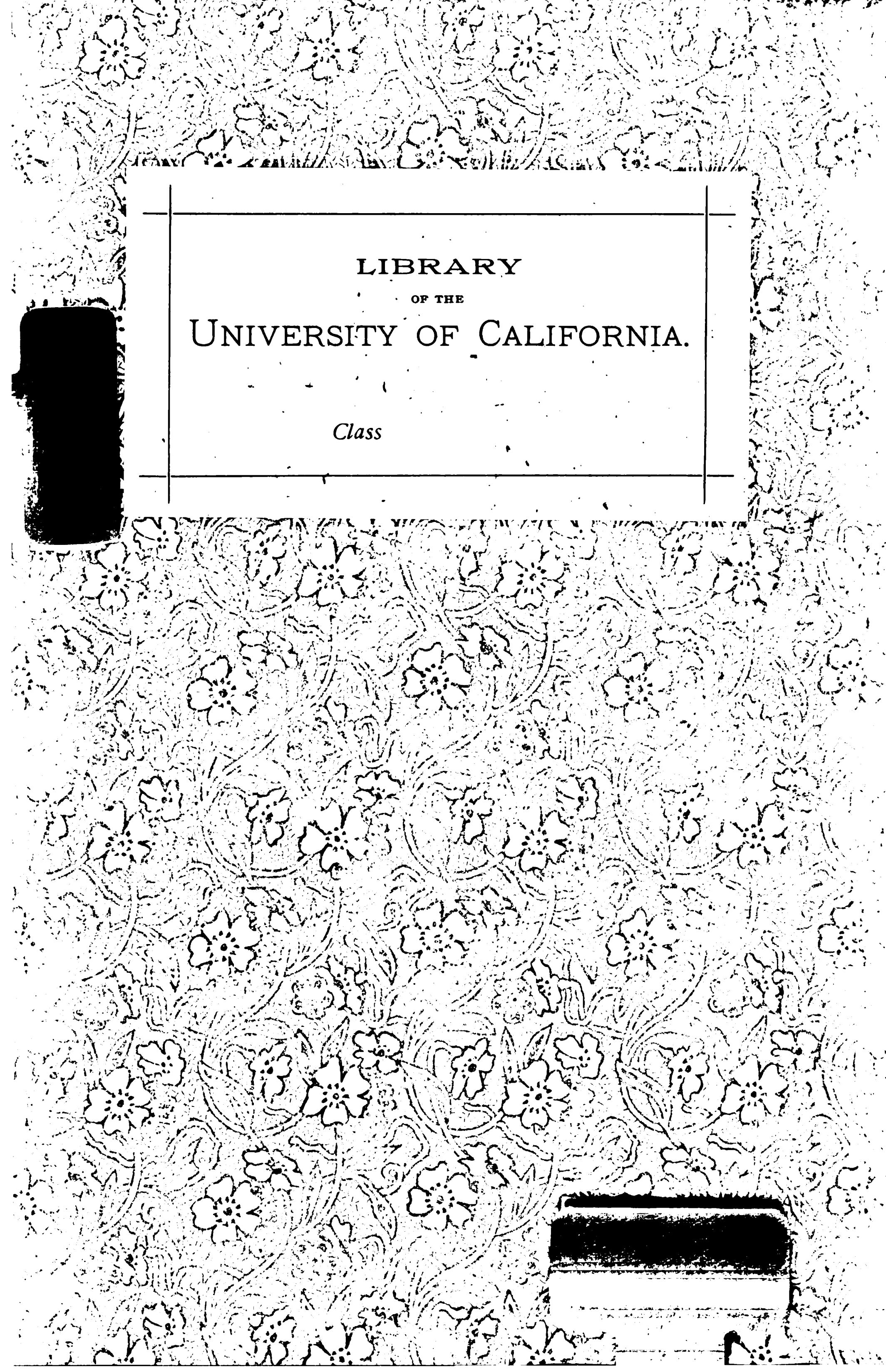
PROF. H. v. JÜPTNER



LEHRBUCH
DER
CHEMISCHEN TECHNOLOGIE
DER
ENERGIEN.

DRITTER BAND.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE





LEHRBUCH DER CHEMISCHEN TECHNOLOGIE DER ENERGIEN

VON

HANNS v. JÜPTNER von Jonstorff

O. Ö. PROFESSOR AN DER K. K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN WIEN.

III. BAND:

DIE CHEMISCHE TECHNOLOGIE DER STRAHLENDEN UND DER ELEKTRISCHEN ENERGIE.

MIT 203 ABBILDUNGEN.



LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1908.

Verlags-Nr. 1337.

K. u. K. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

Vorwort.

Als im Juni 1905 der erste Teil vom I. Bande des „Lehrbuches der chemischen Technologie der Energien“ abgeschlossen wurde, legte der Verfasser im Vorworte sowohl als noch ausführlicher im ersten Kapitel der „Einführung“ die Zwecke dar, für welche das Buch bestimmt ist.

Mit dem vorliegenden Bande findet das Werk seinen Abschluß und der Verfasser kann nur wünschen, daß es im *ganzen* eben solchen Beifall finden möge, wie die schon erschienenen ersten Bände!

Wenn man neue Wege betritt, wie es bei vorliegendem Buche der Fall war, so ist es wohl begreiflich, daß der Verfasser — wenn er auch noch so sehr von der Richtigkeit des eingeschlagenen Weges überzeugt ist (und das muß wohl der Fall sein, da er sonst andere Wege eingeschlagen hätte) — einigermaßen bange ist, welche Aufnahme er in Fachkreisen finden wird. Das war auch hier der Fall, obwohl der Verfasser — wie der Rezensent in der Zeitschr. f. allg. Chemie ganz richtig hervorhebt — förmlich durch einen inneren Drang genötigt war, das Buch zu schreiben, und zwar so zu schreiben, wie es vorliegt. Es war ihm daher sehr beruhigend, daß das Buch bei der Kritik überall warme Aufnahme fand, daß also der von ihm eingeschlagene Weg von berufener Seite als richtig anerkannt wurde.

Daß überdies dem Buche nicht allein als Lehrbuch für den Hochschulunterricht, sondern auch als Behelf für den in der Praxis stehenden Ingenieur ein günstiges Prognostikon gestellt wurde, hat den Verfasser, der ja selbst auf eine 25jährige praktische Tätigkeit zurückblickt, aufrichtig gefreut! Dasselbe gilt von der Bemerkung eines anderen Rezensenten, nach welchem das Buch nicht nur für den Chemiker, sondern für jeden Ingenieur bestimmt scheine. Der Unterschied zwischen „Ingenieur“ im alten Sinne und zwischen „technischem Chemiker“ — den ich lieber chemischen Techniker nennen möchte — verwischt sich eben immer mehr, und strenge genommen, soll es ja auch in der Praxis nichts anderes geben als Ingenieure, die allerdings eine spezielle Ausbildung nach einer oder einer anderen Richtung haben müssen.

Wien, im August 1907.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

I. Teil.

Die chemische Technologie der strahlenden Energie und die Beleuchtungstechnik.



Einführung.

I. Kapitel.

Allgemeines.

Im ersten Buche der chemischen Technologie der Energien wurde die Umwandlung von chemischer Energie in Wärme besprochen, und es ergab sich, daß die Nutzbarmachung der so gewonnenen Wärme, d. i. ihre Übertragung von der Wärmequelle auf die zu erhitzenden Körper oder Räume, auf zweierlei Weise erfolgen kann: durch Leitung und durch Strahlung. Wir hatten es also schon hier mit dem Auftreten von strahlender Energie, d. i. mit jener Form der Energie zu tun, die uns hier vorwaltend beschäftigen wird.

Ebenso, wie wir bei der chemischen Technologie der Wärme zwar hauptsächlich die Umwandlung von chemischer Energie in Wärme behandelten, daneben aber doch auch der in der modernen Technik immer mehr Bedeutung gewinnenden Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme wenigstens in Kürze gedenken mußten, werden wir auch hier unser Hauptaugenmerk der Umwandlung von chemischer Energie in strahlende widmen, daneben aber auch andere Methoden der Gewinnung dieser Energieform berücksichtigen. Vor allem aber werden wir die verschiedenen Arten der strahlenden Energie kennen lernen müssen.

Während man bis vor wenigen Jahren nur drei verschiedene Arten der strahlenden Energie unterschied (Wärme-, Licht- und chemisch wirksame Strahlen), hat man in jüngster Zeit eine ganze Reihe neuer Strahlungsarten kennen gelernt, wie X-Strahlen, N-Strahlen, Herz'sche Strahlen, etc. Da letztere Strahlenarten teils technisch noch geringe Bedeutung haben, teils aber auch in Bezug auf ihre Entstehung und Verwendung einem anderen Gebiete angehören als dem der Leuchttechnik, mit welcher wir uns hier vorwaltend beschäftigen, wollen wir von denselben absehen und weiterhin

nur die oben erwähnten längst bekannten Strahlungsarten besprechen.

Die Strahlen einer Lichtquelle, z. B. der Sonne, werden nicht allein unserem Auge als Licht, sondern auch unserem Körper, z. B. unserer Hand, als Wärme fühlbar und wirken überdies auf eine photographische Platte chemisch verändernd ein. Die strahlende Energie, die wir gewöhnlich als Licht bezeichnen, übt daher nicht nur optische, sondern auch thermische und chemische Wirkungen aus. Demgemäß spricht man von Lichtstrahlen, von Wärmestrahlen und von chemisch wirksamen Strahlen.

Bezüglich der Natur dieser Strahlen nimmt man heute mit Huygens an, daß dieselben nichts anderes seien, als wellenförmige Schwingungen eines hypothetischen Körpers, den man Lichtäther oder kurz Äther genannt hat. Man denkt sich diesen Äther als einen ganz oder doch fast ganz gewichtslosen Körper, der den ganzen Weltraum erfüllt und überall, also sowohl in den dichtesten Stoffen wie Gold oder Platin, so wie auch in leeren Räumen vorhanden ist. Gerät dieser Äther an irgend einer Stelle in Schwingungen, so pflanzen sich diese nach allen Richtungen weiter fort, und das ist dann Energiestrahlung oder strahlende Energie.*)

Diese Ätherschwingungen können nun sowohl in Bezug auf ihre Wellenlängen als auf ihre Schwingungsdauer verschieden sein. Das Produkt beider entspricht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, die in einem gegebenen Mittel eine konstante Größe ist. Sie beträgt

nach Fizeau	(1849):	315000	*km* in der Sekunde,
„ Foucault	(1862):	298000	„ „ „ „
„ Cornu	(1874):	300400	„ „ „ „
„ Michelson	(1879):	299820	„ „ „ „

Im allgemeinen sind die Ätherschwingungen, die wir als Licht bezeichnen, keine einfachen Wellen mit einer einzigen bestimmten Wellenlänge, sondern sehr komplizierter Natur, doch sind wir durch Anwendung eines Prismas oder eines Beugungsgitters im Stande, dirse komplizierten Schwingungen in einfache zu zerlegen.

Wir erhalten so aus einem einzigen Lichtstrahl einen in die Breite gezogenen Lichtstreif, ein Lichtband, das wir als Spektrum bezeichnen und in welchem in der Regel die einzelnen einfachen Strahlen so nebeneinander liegen, daß auf der einen Seite des

---

*) Diese kinetische Auffassung des Lichtes schließt übrigens wohl die Existenz eines gewichts-, also auch massenlosen Äthers völlig aus, da kinetische Energie nur in bewegten Massen enthalten sein kann.

Spektrums die Strahlen mit größter Wellenlänge auftreten. An diese reihen sich solche mit immer kürzerer Wellenlänge an, so daß das andere Ende des Spektrums von Strahlen kürzester Wellenlänge gebildet wird. Das gewöhnliche weiße Licht gibt, in dieser Weise zerlegt, ein farbiges Spektrum, das von rot beginnend über orange, gelb, grün und blau in violett übergeht. Das ist das sichtbare Spektrum.

Aber außerhalb dieses sichtbaren Spektrums, d. i. sowohl über das Rot als über das Violett hinaus, finden wir noch andere Strahlen, die dem Auge — wenigstens ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel — nicht sichtbar sind und die das unsichtbare Spektrum bilden. Jener Teil, der über das Rot hinaus liegt, heißt ultrarot, der über das Violett hinaus liegende aber ultraviolett. Die Existenz dieser unsichtbaren Strahlen läßt sich erkennen, indem die ultraroten Strahlen auf einen empfindlichen Wärmemesser (Thermometer, Thermosäule, Radiometer, Bolometer, etc.) einwirken, also als Wärmestrahlung aufzufassen sind, während die ultravioletten auf eine photographische Platte chemisch einwirken, weshalb sie auch als chemisch wirksame Strahlen bezeichnet werden.

Hiebei ist jedoch zu beachten, daß diese drei Strahlenarten keineswegs scharf voneinander getrennt werden können, indem beispielsweise nicht bloß die ultravioletten, sondern auch andere Strahlenarten chemische Veränderungen hervorrufen können, während umgekehrt alle eben besprochenen Strahlenarten auch als Wärmestrahlen aufgefaßt werden können, indem die mit ihnen wandernde Energie beim Auftreffen auf ein Thermometer, eine Thermosäule oder ein Bolometer in Wärme umgewandelt wird. Diese Strahlungen sind nach unserer gegenwärtigen Auffassung eben nichts anderes als Ätherwellen, die sich voneinander nur durch die Wellenlänge und ihren Energieinhalt unterscheiden, indem letzterer mit der Wellenlänge steigt und fällt.

Von allen den unendlichen Strahlengattungen vermag unser Auge nur jene zu beobachten, deren Wellenlänge zwischen 0·0008 *mm* und 0·0004 *mm* liegt.

Für manche Zwecke ist es nötig, gewisse Strahlen zurückzuhalten. Man bedient sich hiezu verschiedener absorbierender Mittel, wie Glas, das alle Wellen mit mehr als 0·003 *mm* (= 3 μ) Wellenlänge zurückhält, und Wasser, das alle Strahlen mit mehr als 1 μ Wellenlänge absorbiert. Anderseits ist es für spezielle Untersuchungen wünschenswert, Stoffe zu besitzen, welche möglichst wenig strahlende Energie absorbieren; solche sind Steinsalz,

und besonders Flußspath und Sylvin, von denen ersterer Wellen bis 12 μ, letzterer sogar solche bis 19 μ passieren läßt. In jüngster Zeit ist es sogar gelungen, Wärmestrahlen bis 50 μ = $\frac{1}{20}$ *mm* Wellenlänge nachzuweisen, so daß es nicht ausgeschlossen erscheint, daß es gelingen könne, auch die Existenz von Wellen sicherzustellen, welche zwischen diesen und den kürzesten „elektrischen Wellen“ (Wellenlänge λ = 2·5 *mm*) liegen. Auch diese letzteren Wellen, die in der drahtlosen Telegraphie Anwendung finden, sind nichts anderes als Ätherwellen, deren Länge jedoch einige tausend Meter erreichen kann, im Durchschnitte aber einige hundert Meter beträgt.

Wie sich aus vorstehenden Betrachtungen ergibt, kann unser Auge nur einen sehr beschränkten Teil aller jener Strahlen, die ein leuchtender Körper aussendet, beobachten. Dafür aber ist innerhalb dieses Gebietes die Empfindlichkeit des menschlichen Auges für Strahlen eine ganz außerordentlich große. So erscheint uns die Flamme einer Kerze sehr hell, während doch die von derselben ausgestrahlte Energie so klein ist, daß die Menge derselben, die bei 1 *m* Entfernung das Auge trifft, erst in mehr als einem Jahre hinreichen würde, um die Temperatur von 1 *g* Wasser um 1° C zu erhöhen.*)

Nach unseren gegenwärtigen Ansichten scheidet jeder Körper, bei jeder — also auch bei gewöhnlicher — Temperatur strahlende Energie aus, und zwar Wellen von allen möglichen Wellenlängen. Die Ursache, warum wir diese Strahlung eines Körpers von niederer Temperatur nicht sehen, liegt darin, daß unser Auge, trotz seiner außerordentlichen Empfindlichkeit für Lichtstrahlen, doch eine Empfindlichkeitsgrenze besitzt, indem eine gewisse minimale Menge von strahlender Energie dazu erforderlich ist, um dem Auge bemerkbar zu werden. Mit steigender Temperatur nimmt die Menge der von einem Körper ausgesendeten strahlenden Energie zu und wird bei etwa 500° so groß, daß sie dem Auge sichtbar zu werden anfängt. Draper**) fand, daß alle festen Körper bei 525° C zu leuchten beginnen und zuerst nur rotes Licht aussenden (Draperscher Gesetz).

1887 fand jedoch H. F. Weber***) bei seinen Untersuchungen über die Ökonomie der Glühlampen, daß ein Kohlenfaden nicht erst mit beginnender Rotglut sichtbare Strahlen liefere, sondern daß er schon früher ein „düster nebelgraues“ oder „gespenstergraues“ Licht

*) O. Tumlirz, Wiedemanns Ann., 38, p. 640—662 (1889); C. C. Hutchins, Sill. Jour., 39, p. 392 (1890); Kurt Ångström, Phys. Zeitschr. 1902.

**) Am. Jour. of Sience (2) 4, 1847.

***) Sitzber. d. Berliner Ak. d. W., 28, p. 491 (1887); Wiedemanns Ann., 32, p. 526 (1887).

aussende. „Diese erste Spur düster nebelgrauen Lichtes erscheint dem Auge als etwas unstet, glimmend, auf und ab huschend.“ Mit steigender Temperatur nimmt die Helligkeit dieses Lichtes rasch zu und es geht von düstergrau in aschgrau, gelblichgrau und schließlich in feuerrot über. „Mit dem Auftreten dieser ersten Andeutung des roten Lichtes verschwand die letzte Spur des Glimmens, Hin- und Herzitterns, welches sich bisher in allen Stadien der Grauglut gezeigt hatte.“ Nach H. F. Weber und E. Emden*) tritt die erste Lichtemission beim Gold schon bei 423° C, ja beim Neusilber sogar schon bei 403° C ein.

Diese Beobachtungen führten O. Lummer**) zu folgender Auffassung über die Beschaffenheit unseres Auges, wobei er den Zapfen und den Stäbchen, den beiden lichtempfindlichen Bestandteilen unserer Netzhaut, im Sinne der neuen Phyisiologie ganz verschiedene Funktionen zuschreibt, sie also als zwei besondere Sehapparate auffaßt.

Beobachten wir im Dunkelzimmer die allmähliche Temperatursteigerung eines Körpers, so empfindet unser Auge nach Lummer einen zweimaligen Sprung, erst vom Dunkel zur Grauglut, dann von dieser zur Rotglut. In beiden Fällen entspricht dieser Sprung der Überschreitung der Empfindlichkeitsgrenze unserer Sehnerven (der sogenannten Reizschwelle). Das Eintreten der Grauglut entspricht aber der Reizschwelle der Stäbchen, jenes der Rotglut hingegen der Reizschwelle der Zapfen. Die Grauglut wird somit mittels der Stäbchen, die Rotglut aber mittels der Zapfen empfunden.

„Auf Grund der neueren physiologischen Forschungen über das Sehen bei geringer Helligkeit und den Einfluß des Sehpurpurs in den Stäbchen bei der Farbenperzeption gelang es mehr und mehr, die Wirkungsweise unserer beiden Netzhautorgane voneinander zu trennen und ihre gesonderten Aufgaben zu ergründen. Schon A. König***) hatte das Farblossehen der total Farbenblinden bei jeder Helligkeit, das farblose Sehen der Farbentüchtigen bei sehr geringer Helligkeit und die Empfindung des Blau den Stäbchen zugeschrieben. J. v. Kries†) ging weiter und löste die noch bestehenden Schwierigkeiten und Widersprüche, indem er die Hypothese aufstellte, daß die Zapfen unseren farbentüchtigen ‚Hellapparat‘, und

*) Wiedemanns Ann., 36, p. 214—236 (1889).

**) Wiedemanns Ann., 62, p. 14—29 (1897); Verh. d. Phys. Gesellsch. in Berlin, 16, p. 121—127 (1897).

***) Sitzber. d. Berliner Ak. d. W. 1894, p. 577.

†) Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorgane, 9, p. 81—123 (1894).

die Stäbchen unseren total farbenblinden ‚Dunkelapparat‘ bilden. Dieser Kries'schen Theorie gemäß vermitteln die Zapfen das Sehen bei großer Helligkeit, und ihre Erregung durch die Lichtwellen erweckt im Gehirn die Empfindung der Farbe, während die purpurhaltigen Stäbchen total farbenblind sind, erst bei sehr geringer Helligkeit in Wirksamkeit treten und mit der Fähigkeit ausgestattet sind, ihre Empfindlichkeit im Dunkeln ganz bedeutend zu steigern. ‚Dunkeladaption‘ nennt Kries diese Eigenschaft der Stäbchen. Ehe die Zapfen farbiges Licht empfinden, vermitteln die Stäbchen zum Gehirn den Eindruck farbloser Helligkeit.“

Bevor wir auf diese Verhältnisse noch weiter eingehen können, müssen wir den Bau des Auges kennen lernen. Fig. 1 stellt einen vertikalen Durchschnitt durch den Augapfel und die Eintrittstelle des Sehnerven dar. Ersterer besteht aus einem kugelförmigen Körper, der an dem an seiner Rückseite eintretenden Sehnerv wie ein Apfel an seinem Stiele hängt. Außen ist dieser Körper von drei übereinanderliegenden Häuten umgeben, welche einen mit durchsichtiger Materie erfüllten Raum umschließen. Die äußerste dieser Häute ist die weiße oder harte Augenhaut (Sklerotica) (Fig. 1 a); ihre vordere sichtbare Partie stellt das sogenannte Weiße im Auge dar. Innen ist dieselbe mit einem samtartigen, tiefschwarzen Häutchen c ausgekleidet, das zahlreiche Blutgefäße enthält und deshalb Aderhaut (Chorioïdea) genannt wird, und die den Zweck hat, überflüssige

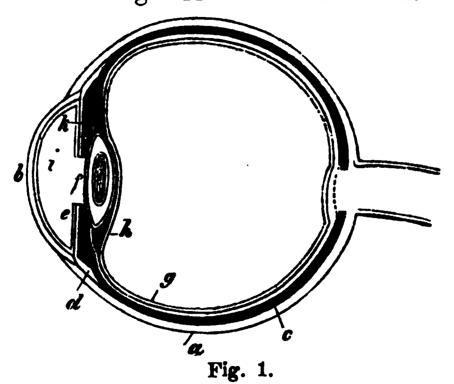


Fig. 1.

Lichtstrahlen zu absorbieren, das Innere des Auges also in eine Dunkelkammer zu verwandeln. Diese beiden Häute werden an der Rückseite des Augapfels vom Sehnerv durchbohrt, der sich dann auf der Innenfläche der Aderhaut in Form eines zweiten graulich durchscheinenden Häutchens g ausbreitet, das Netzhaut, Nervenhaut oder Retina genannt wird. Alle diese drei Häute sind im vorderen Teile des Augapfels durchlocht. In diesem Ausschnitt der weißen Augenhaut sitzt die kugelförmig gewölbte, nach außen uhrglasförmig vorspringende Hornhaut oder Cornea b, die, im Gegensatz zur weißen Haut, vollkommen durchsichtig ist. Da, wo sich die Hornhaut in die harte Augenhaut einpflanzt, entspringt

innerhalb des Augapfels die vertikal stehende, ringförmig durchlöcherte Regenbogenhaut e (Augenstern, Iris oder Blendung), deren Durchbohrung einen runden schwarzen Fleck f darstellt, den man Pupille oder Sehloch (das Schwarze im Auge) nennt. Die verschieden gefärbte Iris enthält außer Blutgefäßen noch zahlreiche Muskelfasern, mittels welchen die Pupille entsprechend der größeren oder geringeren Intensität des einfallenden Lichtes erweitert oder verengt werden kann. Iris und Pupille zusammen stellen somit eine sich selbsttätig regulierende Blende (ein Diaphragma) dar.

Der Raum zwischen Hornhaut und Regenbogenhaut bildet die vordere Augenkammer i, die mittels der Pupille mit der hinteren Augenkammer k in Verbindung steht. Beide sind von der wässerigen Feuchtigkeit erfüllt, welche das erste lichtbrechende Medium des Augapfels darstelt. Auf sie folgt beinahe unmittelbar hinter der Pupille eine farblose, durchsichtige, bikonvexe Linse l, Kristallinse genannt. Sie liegt in einer nischenartigen Aushöhlung des hinter ihr befindlichen Glaskörpers, eines gallertartigen, durchsichtigen, kugelförmigen Körpers, welcher den hintersten Innenraum des Augapfels erfüllt und diesem seine Rundung verleiht. Dieser Glaskörper liegt genau an der Netzhaut an und erhält letztere glatt ausgespannt.

Die wesentlichsten Bedingungen zum Sehen sind vollkommene Durchsichtigkeit der verschiedenen Brechungsmedien (Hornhaut, wässerige Feuchtigkeit, Kristallinse und Glaskörper) sowie Empfindlichkeit der Netzhaut. Diese Empfindlichkeit ist aber fast nur auf Lichteindrücke beschränkt, während die Netzhaut wenig oder gar kein Gefühl hat.

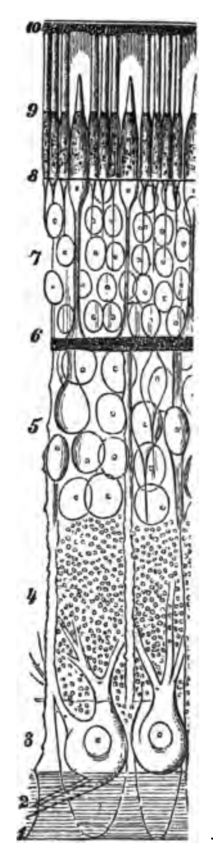


Fig. 2. Schematischer Schnitt durch die Netzhaut. (Nach Bock: Bau des menschlichen Körpers).

Die Zusammensetzung der Netzhaut ist eine sehr komplizierte, wie beistehender schematischer Schnitt durch dieselbe nach Max Schultze zeigt (Fig. 2). 1 ist die innere Begrenzungsschicht, 2 die Sehnervenfaserschicht, 3 eine Ganglienzellenschicht, 4 die innere granulierte Schicht, 5 die innere Körnerschicht, 6 die äußere gra-

nulierte Schicht, 7 die äußere Körnerschicht, 8 die äußere Begrenzungsschicht, 9 die Stäbchen- und Zapfenschicht und 10 eine schwarze Farbschicht. Die Fasern des Sehnervs enden in Stäbchen und Zapfen, die von schwarzgefärbten Scheiden umgeben und von einer schwarzgefärbten Schicht bedeckt sind, die man früher irrtümlich der Aderhaut zurechnete. Die Stäbchen sind zylindrisch, stehen dicht nebeneinander und nehmen in regelmäßigen Abständen die flaschenförmigen Zapfen zwischen sich. Der gelbe Fleck ist jener Punkt der Netzhaut, auf welchen die Lichtstrahlen eines Gegenstandes fallen, den man scharf ins Auge faßt. Er wird auch Netzhautgrube (fovea centralis) genannt (D' C', Fig. 3) und enthält nur Zapfen und gar keine Stäbchen. Je weiter man sich von dieser Stelle entfernt, desto mehr Stäbchen treten in der Netzhaut auf, so daß am Rande derselben letztere überwiegen. Nur an jener Stelle, wo der Sehnerv in den Augapfel eintritt, fehlen sowohl Stäbchen als Zapfen gänzlich, weshalb dieselbe vollständig unempfindlich gegen Licht ist (blinder Fleck).

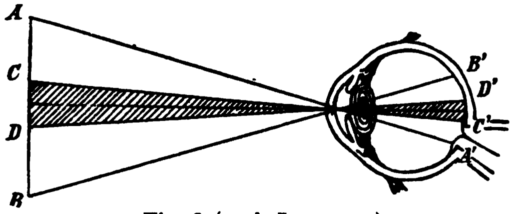


Fig. 3 (nach Lummer).

Wenn wir einen Gegenstand fixieren, so fällt sein Bild auf den gelben Fleck und beim direkten (fovealen) Sehen sind daher die Stäbchen ganz ausgeschaltet, während beim indirekten (peripheren) Sehen außer den Zapfen auch noch die Stäbchen in Tätigkeit kommen. Hier treten also bei geringer Helligkeit die beiden Sehapparate miteinander in Wettstreit, der, wenn die Helligkeit gering genug ist, zu Gunsten der farbenblinden Stäbchen ausfüllt, so daß dann alles „grau in grau", d. h. in farbloser Helligkeit erscheint. Dabei besitzen, wie Lummer hervorhebt, die auf der Netzhautgrube befindlichen Zapfen (etwa 60.000 an der Zahl) je eine besondere Nervenleitung zum Gehirn, während die Stäbchen (etwa 120 Millionen) zu vielen gemeinschaftlich an einem Nervenstrange sitzen. Infolgedessen addieren sich natürlich bei den Stäbchen die einzelnen Wirkungen und bringen demgemäß auch einen größeren Reiz hervor als die Zapfen.

Weitere Versuche haben ergeben, daß die größte Empfindlichkeit der Zapfen im Gelbgrün, die der Stäbchen aber im Blaugrün liegt.

Das „Gespenstige" des Stäbchensehens tritt nach Lummer erst dann ein, wenn man eine genügend kleine Fläche betrachtet,

deren Netzhautbild an Ausdehnung höchstens gleich der Stelle des deutlichsten Sehens, d. i. der Netzhautgrube, ist, und deren Helligkeitssteigung man im Dunkeln verfolgt. „Am besten bedient man sich hiezu eines elektrisch geglühten Platinbleches, welches man durch ein Diaphragma begrenzt und dessen Lichtentwicklung man mit gut ausgeruhtem Auge im Dunkeln verfolgt. Hat das Platinblech die Temperatur von etwa 400° C erreicht, so werden zunächst nur die Stäbchen des im Dunkeln umherirrenden Auges erregt und im Gehirn wird die Empfindung farbloser Helligkeit (Grauglut) ausgelöst; gewöhnt, das zu fixieren, was uns Licht zusendet, wenden wir unser Auge in die Richtung, von der wir glauben, daß die Lichtstrahlen gekommen sind. Da aber die Zapfen noch nicht in Erregung geraten, sendet die Netzhautgrube auch keine Lichtmeldung zum Gehirn, also können wir auch die „fixierte“ Stelle nicht sehen! Es tritt hier somit der merkwürdige Zustand ein, daß wir etwas sehen, das wir nicht fixieren, während es unsichtbar wird, wenn wir es näher ins Auge fassen wollen. Und da wir beim direkten Sehen nichts sehen könnnen, so bewegen wir unwillkürlich unser Auge weiter, wodurch die Strahlen wieder auf indirekte Netzhautstellen fallen; wiederum erhalten wir den Eindruck von Licht, und von neuem beginnt die Suche nach dem Orte, von wo das merkwürdige Licht kommt. So entsteht in uns der Eindruck eines Lichtes, welches hin und her huscht, bald vorhanden ist, dann wieder entflieht und uns gleich einem Irrlicht neckt. Erst wenn die Helligkeit so groß geworden ist, daß auch die Zapfen erregt werden und dem Gehirn „Licht“ zu melden im stande sind, schwindet dieser ungewohnte Zustand; dann sehen wir das, was wir fixieren, ganz wie wir es gewöhnt sind, und das Gesehene flieht nicht mehr unserem prüfenden Blicke. Dies tritt beim Glühen erst ein, sobald der Körper die Temperatur der „Rotglut“ (etwa 500° C) erreicht hat; erst dann werden die Zapfen erregt und wir empfinden außer der Helligkeit auch noch Farbe.“

„Die Farbe dieser sogenannten Rotglut hängt nicht unwesentlich ab von der Größe der getroffenen Netzhautfläche. Bei dem Wettstreit beider Sehapparate, ihre gesonderten Meldungen im Gehirn zur Geltung zu bringen, die Stäbchen die farblose, die Zapfen die farbige Empfindung, wird eine Verschmelzung beider Empfindungen zu stande kommen, so daß die erste farbige Glut stets einen wenig gesättigten, weißlichen Ton annehmen wird und erst später ins Feuerrote übergehen dürfte. ganz, wie es H. F. Weber beobachtet hat.“

Auch dieses „gespensterhafte“ Sehen kann man ohne alle Apparate beobachten, freilich nur im Dunkel der Nacht, und wir wollen, des allgemeinen Interesses halber, die bezüglichen Bemerkungen Lummers noch weiter anführen:

„Selten ist selbst bei gut schließenden Läden das Schlafzimmer absolut dunkel, und leicht kann es sich ereignen, daß ein eindringender Lichtstrahl seine Spuren an der Wand zeichnet. Wir erwachen, und wie merkwürdig, das Deckbett, der weiße Ofen und alle helleren Objekte erscheinen in einem magischen, weißlichen Lichtglanz. Denn das „Stäbchenweiß“ hat so gar nichts Ähnliches der Weißempfindung der Zapfen im Tageslicht. Plötzlich bemerken wir den hellen Fleck an der Wand, und um ihn näher zu betrachten, richten wir unseren Blick dorthin. Aber so sehr wir uns auch bemühen, es will uns nicht gelingen, die Umrisse genauer zu erkennen, da der Fleck unserem Blicke flieht und im Kreise sich zu drehen scheint. Jetzt endlich haben wir ihn gebannt — und im selben Moment ist er ganz verschwunden, um an der benachbarten Stelle wieder hervorzubrechen. Ein Geräusch gesellt sich zu diesem neckischen Spiele, und die Vorstellung von einem „Gespenste“ wird nur zu leicht die halb wachenden, halb schlafenden Sinne vollständig gefangen nehmen!“

II. Kapitel.

Strahlungsgesetze.

Von dem Augenblicke an, wo die von einem Körper ausgesendeten Strahlen die Reizschwelle der Zapfen überschreiten, sehen wir denselben rotglühend. Mit steigender Temperatur nimmt seine Helligkeit rasch zu und die Glühfarbe geht vom Rot über Orange und Gelb allmählich in Weiß über.*) Untersuchen wir das Spektrum eines derartigen glühenden Körpers bei steigender Temperatur, so finden wir, daß sich den anfangs allein auftretenden langwelligen roten Strahlen allmählich solche von immer kürzer werdender Wellenlänge, also gelbe, grüne und blaue Strahlen beimengen. Gleichzeitig wird das ausgesendete Licht um so weißer. Wir kommen so ohne weiteres zu folgenden, für alle festen Körper geltenden Strahlungsgesetze:

---

*) Temperatur der Glühfarben siehe I, 1, p. 71.

1. Die Helligkeit der Ausstrahlung (die Strahlungsenergie) eines glühenden festen Körpers steigt mit seiner Temperatur rasch an.

2. Mit steigender Temperatur wächst die Strahlungsintensität der verschiedenen Strahlen (Farben) um so rascher, je kürzer ihre Wellenlänge ist.

3. An diese beiden qualitativen Gesetze reiht sich als erstes quantitatives das Kirchhoff'sche Gesetz von der Absorption und Emission des Lichtes, nach welchem die Körper bei jeder Temperatur vorzugsweise jene Strahlungsgattung aussenden, die sie bei derselben Temperatur auch absorbieren.

Demzufolge können alle jene Körper nicht leuchten, die bei der betreffenden Temperatur das Licht nicht absorbieren, sondern ungeschwächt durchgehen lassen oder reflektieren. Wir sehen dies an durchsichtigen Gasen (Bunsen- oder Knallgasflamme), die trotz der hohen Flammentemperatur nicht leuchten, während die undurchsichtige Kohle schon bei weit niederer Temperatur weißes Licht aussendet.

Dieses Gesetz gilt jedoch nach unseren heutigen Anschauungen nur für jene Körper vollkommen streng, welche ein kontinuierliches Spektrum geben, also Strahlen aller Wellenlängen aussenden. Derartige Strahlungen sind reine Temperaturstrahlungen, während es bei manchen Körpern vorkommt, daß sie — sei es aus chemischen, sei es aus thermischen Ursachen — nur bestimmte Strahlengattungen aussenden. Diese Strahlungsart, die man Lumineszenz*) genannt, folgt dem Kirchhoff'schen Gesetze nicht genau. Gerade diese Erscheinung dürfte aber künftig für die Beleuchtungstechnik von steigender Bedeutung werden.

Den mathematischen quantitativen Ausdruck des Kirchhoff'schen Gesetzes erhält man, wenn man die Emissionsvermögen einer Reihe von Körpern mit $E_1, E_2, E_3, \ldots$ ihre Absorptionsvermögen aber**) mit A_1, A_2, A_3, . . . bezeichnet. Dann ist:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \frac{E_\lambda}{A_\lambda} = \text{const.} \tag{1}$$

*) Man unterscheidet je nach der Veranlassung Chemi- oder Thermo-Lumineszenz.

**) Beide auf gleiche Wellenlänge und Temperatur bezogen.

Nach dieser Gleichung*) ist also das Verhältnis zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen, bezogen auf gleiche Wellenlänge und Temperatur, für alle Körper dasselbe.

Ein Körper, der alle Strahlen, die auf ihn fallen, vollständig absorbiert, also keine durchläßt oder reflektiert, heißt absolut schwarzer Körper. Bezeichnen wir sein Emissionsvermögen für eine bestimmte Strahlengattung und Temperatur mit S_λ, so läßt sich dieses zum Vergleiche mit anderen Körpern benützen, und man erhält, weil nach obigem das Absorptionsvermögen eines solchen Körpers $= 1$ sein muß, als neuen Ausdruck des Kirchhoff'schen Gesetzes die Gleichung

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = S_\lambda \qquad (2)$$

d. h. das Verhältnis zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen aller Körper bezogen auf eine bestimmte Strahlengattung und Temperatur ist gleich dem Emissionsvermögen des absolut schwarzen Körpers unter gleichen Bedingungen.

Nun gibt es in der Natur keinen solchen absolut schwarzen Körper, da jeder mehr oder weniger stark alle auf ihn treffenden Wellen reflektiert. Kohlenruß und Platinmoor würden allerdings den Bedingungen eines solchen Körpers sehr nahe kommen, da beide die sichtbaren Wellen fast gar nicht reflektieren und selbst die langen Wärmewellen noch recht gut absorbieren. Aber diese Stoffe halten bei höheren Temperaturen nicht stand: Ruß verbrennt bei etwa 400^0 C und Platinmoor verwandelt sich bei ungefähr 600^0 C in blankes Platin. Blanke Metalle reflektieren aber erhebliche Mengen der auftreffenden Strahlen, sind also weit vom schwarzen Körper entfernt. Nennen wir das Absorptionsvermögen eines solchen Körpers ebenso, wie früher, A_λ, sein Reflektionsvermögen aber R_λ, so gilt:

$$A_\lambda + R_\lambda = 1 \qquad (3)$$

Um also dem schwarzen Körper näher zu kommen, überzieht man blankes Platin mit möglichst schlecht reflektierenden Körpern, wie Eisenoxyd, Uranoxyd, etc. Sehr deutlich läßt sich die Wirkung derartiger Überzüge erkennen, wenn man auf Platinblech Tintenstriche anbringt und das Blech dann allmählich zum Glühen erhitzt. Hiebei verdampft die Flüssigkeit und es bleibt ein Überzug von Eisenoxyd zurück. Kommt endlich das Blech ins Glühen, so leuchten (selbst noch bei Weißglut) die Tintenstriche weit heller

*) In der Gleichung ist A jener Bruchteil der auf den Körper auffallenden Strahlen, der von demselben wirklich absorbiert, also weder durchgelassen noch reflektiert wird. Absorbiert ein Körper alle auf denselben auftreffenden Strahlen, so wird $A = 1$.

als das blanke Platinblech, weil sie — dem Kirchhoff'schen Gesetze entsprechend — mehr Licht emitieren als dieses. Umgekehrt aber erscheinen nach dem Erkalten diese Striche im auffallenden Lichte dunkler als das Blech, weil erstere weniger Strahlen reflektieren als letzteres. Hieraus ergibt sich ohne weiteres, daß der absolut schwarze Körper beim Glühen stärker leuchten muß als alle anderen Körper.

Da nun, wie schon erwähnt, kein solcher absolut schwarzer Körper in der Natur existiert, müssen wir uns künstlich ein Gebilde schaffen, das sich bezüglich der Energiestrahlung ebenso verhält, wie ein solcher.

Schon Kirchhoff hat aus seinem Gesetze Folgerungen gezogen, welche die Bedingungen enthalten, auf denen die Realisierung des absolut schwarzen Körpers beruht. Er sagt darüber: „Wenn ein Raum von Körpern gleicher Temperatur umschlossen ist und durch diese Körper keine Strahlen hindurchdringen können, so ist ein jedes Strahlenbündel im Innern des Raumes seiner Qualität und Intensität nach gerade so beschaffen, als ob es von einem vollkommen schwarzen Körper derselben Temperatur herkäme, ist also unabhängig von der Beschaffenheit und Gestalt der Körper und nur durch die Temperatur bedingt."

Aber erst etwa 40 Jahre später gelang es Wien und Lummer,*) eine derartige Vorrichtung zu konstruieren, welche die schwarze Strahlung in nahezu theoretischer Vollkommenheit zu erhalten gestattete. Sie verfuhren hiebei in folgender eleganter Weise:**)

Man denke sich aus blankem Platin eine Hohlkugel A B G (Fig. 4) geformt, welche bei A G eine kleine Öffnung besitzt. Dann wird ein durch diese längs Sp eintretendes Strahlenbüschel beliebiger Wellenlänge im Innern mehrmals bei p, q, r, u. s. w. reflektiert und dadurch vollkommen verschluckt, ehe es die Öffnung wieder erreichen würde. Für die Richtung Sp ist der spie-

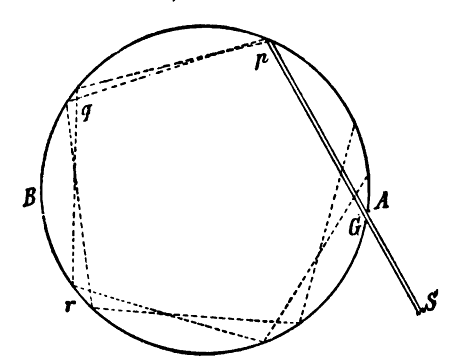


Fig. 4 (nach Lummer, „Ziele der Leuchttechnik").

*) Wiedemanns Ann., 56, p. 451—456 (1895); siehe auch O. Lummer „Naturw. Rundschau, 11, p. 65—68, 82—83 und 93—95 (1895) und Archiv für Mathem. und Phys., II., p. 164 (1901).

**) O. Lummer, „Die Ziele der Leuchttechnik", p. 57.

gelnde Hohlraum demnach ein schwarzer, da $A_\lambda = 1$ ist. Demzufolge muß auch umgekehrt längs p S die schwarze Strahlung austreten, und zwar genau entsprechend der Temperatur, welche die Hohlkugel gerade besitzt. Je schiefer der Strahl p S austritt, desto mehr wird sich unsere Hohlkugel dem Verhalten des schwarzen Körpers nähern, während entgegengesetztenfalles die Abweichung vom schwarzen Körper immer größer wird und unser Apparat bei radial austretendem Strahle sich so verhalten wird wie blankes Platin. Noch bessere Resultate erhält man, wenn man die Innenfläche der Hohlkugel von vorneherein möglichst lichtabsorbierend macht, indem man sie mit Eisenoxyd, Uranoxyd, etc. überzieht. Infolge der diffusen Reflexion dieser Substanzen ist dann die bei A G auftretende Strahlung in jeder Richtung hin nahezu jene des schwarzen Körpers.

Bei der praktischen Ausführung wurde statt der Hohlkugel aus Platinblech ein röhrenförmiger Strahlungsraum angewendet, der für Temperaturen bis etwa 1500° C aus einem Porzellanrohre bestand, das innen mit einer Mischung von Chrom-, Nickel- und Kobaltoxyd geschwärzt war, während für Temperaturen bis 2300° ein Kohlenrohr Anwendung fand. Die Erhitzung erfolgte mittels elektrischen Stromes. Bezüglich der Details, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, sei auf die schon erwähnten Originalarbeiten von W. Wien und O. Lummer, und O. Lummer allein verwiesen.

Die den eben beschriebenen Apparaten zu Grunde liegende Hohlraumtheorie führt aber konsequenterweise zu der Folgerung, daß das sogenannte Draper'sche Gesetz nicht richtig sein könne, denn Draper erhitzt die von ihm untersuchten Substanzen in einem unten geschlossenen Flintenlauf, also in einem Apparate, dessen Strahlung jener des absolut schwarzen Körpers nahe kommt. Es mußte daher auch in allen Fällen das Eintreten der Rotglut bei nahe derselben Temperatur beobachtet werden.*)

Aus dem Vorstehenden ergibt sich aber weiter der folgende wichtige Satz:

4. Der absolut schwarze Körper gibt für jede Wellenlänge das Maximum von strahlender Energie, während jeder nichtschwarze Körper geringere Energiemengen ausstrahlt.

Man kann daher mit keiner, auf reiner Temperaturstrahlung beruhenden Lichtquelle eine größere Helligkeit erzielen als mit dem schwarzen Körper. Dessenungeachtet ist, wie Lummer mit Recht

*) O. Lummer, Arch. f. Math. u. Phys., III. Reihe, Bd. 1, p. 77—90 (1901).

betont, der schwarze Körper als Lichtquelle der unökonomischeste, weil das Maximum seiner Energiestrahlung im unsichtbaren Teile des Spektrums liegt, der größte Teil seiner Strahlung also nicht als Licht zur Geltung kommt. Für Beleuchtungszwecke sind somit solche Körper vorzuziehen, welche die Lichtstrahlen besser absorbieren als die Wärmestrahlen.

Um dies deutlicher zu machen und ein Bild von den Energiemengen zu erhalten, welche beim glühenden schwarzen Körper für Beleuchtungszwecke ungenützt ausstrahlen, wollen wir zunächst die Ergebnisse betrachten, welche die Versuche von O. Lummer und E. Pringsheim über die Verteilung der Energie im Spektrum des schwarzen Körpers*) lieferten.

Fig. 5 zeigt diese Versuchsergebnisse im Diagramm. Zur Messung der Strahlung diente das Lummer-Kurlbaum'sche Bolometer,**) während zur Erzeugung des Spektrums teils ein Flußspat-, teils ein Sylvin-Prisma benützt wurde. Die Beobachtungen erstrecken sich über ein Temperaturintervall von -180^0 C (Temperatur der flüssigen Luft) bis 1600^0 C (Schmelzpunkt des Porzellans) und auf Wellenlängen von 0·8 bis 19 μ. Die Figur 5 gibt eine Versuchsreihe mit dem Flußspatprisma wieder, und zwar in Gestalt von Kurven, welche direkt erkennen lassen, wie das Emissionsvermögen E des untersuchten Körpers sich mit der Wellenlänge λ und der Temperatur T ändert. In ihr sind als Abszissen die Wellenlängen λ in $1 \mu = 0{\cdot}001$ *mm* aufgetragen, während das zugehörige Emissionsvermögen E als Ordinate aufgetragen ist. Die zu jeder Wellenlänge λ zugehörige Energie erhält man, wenn man das zum Bezirk zwischen λ und $\lambda + d\lambda$ gehörige mittlere Emissionsvermögen E_λ mit d λ multipliziert. Die in der Figur gezeichneten Kurven sind also bis auf einen konstanten Faktor identisch mit den Energiekurven und stellen daher auch den Verlauf der Energie von Welle zu Welle richtig dar, der uns ja hier besonders interessiert.

Das sichtbare Spektrum reicht von der Wellenlänge 0·4 μ bis höchstens 0·8 μ; letztere Grenze ist in der Figur durch eine vertikale gestrichelte Linie angedeutet. Rechts von dieser Linie liegt jene Energie, welche wir nicht als Licht empfinden (Wärmestrahlung), links davon die sichtbare Energie. Letztere ist so klein, daß sie selbst bei Anwendung der empfindlichsten Strahlungsmesser kaum für die höchsten Temperaturen gemessen werden

*) Verhdl. d. Phys. Ges., **1**, p. 23—41 (1899); **1**, p. 215—230 (1899); **2**, p. 163—180 (1900).

) Zeitschr. f. Instrumentenkunde, **12, p. 81—89 (1892); Wiedemanns Ann., **46**, p. 204—224 (1892); Ber. der Berliner Akad. 1894, p. 229—238.

konnte. Da für die Wellenlänge $\lambda = 0$ die Energiestrahlung offenbar ebenfalls Null werden muß, werden alle unsere Kurven durch den Nullpunkt unseres Koordinatensystemes gehen. Die Energiestrahlung des schwarzen Körpers im Bereiche des sichtbaren Spektrums ist daher, sowohl absolut als im Vergleiche mit der Gesamtstrahlung, außerordentlich klein, und hieraus folgt, wie Lummer mit Recht hervorhebt: „Da, wo unser Auge fast geblendet wird, vermag die Physik kaum die ankommende Energie zu messen, während der überwiegende Teil der Energie von denjenigen Wellen transportiert wird, für welche unser Auge unempfindlich ist. Welche enorme Vergeudung von Energie findet hier statt! Wie gering ist die Ökonomie, wenn man den schwarzen Körper als Lichtquelle benützt!"

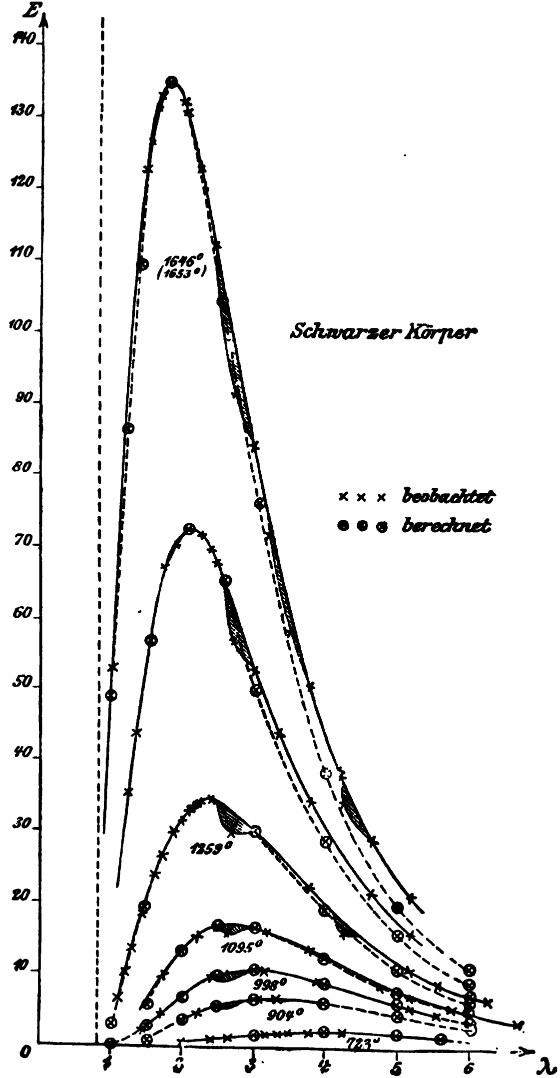


Fig. 5 (nach Lummer, „Ziele der Leuchttechnik").

Als Maß der gesamten Energiestrahlung bei einer bestimmten Temperatur ist jene Fläche zu betrachten, welche zwischen der zu dieser Temperatur gehörigen Energiekurve und der Abszissenachse liegt. Wir können somit als Maß der Ökonomie im physikalischen Sinne das Ver-

hältnis der beiden Teile jener Fläche betrachten, welche durch die bei 0·8 μ gezogene Grenzlinie des sichtbaren Spektrums abgeschnitten werden. Denkt man sich alle unsere Kurven bis zum Anfangspunkte der Koordination verlängert, so ergibt sich, daß jene Fläche, welche die unsichtbare Energiestrahlung darstellt, bei heller Rotglut die Lichtenergiefläche um das 1000fache und selbst bei den höchsten erreichten Temperaturen noch immer etwa um das 100fache übertrifft, daß die Energieverluste also ungeheuer groß sind. Um dieselben zu verkleinern, bleibt nichts anderes übrig, als statt des schwarzen einen anderen strahlenden Körper zu wählen, welcher, im Vergleiche zur Lichtemission, weniger Wärmestrahlen aussendet, als dieser. Ein solcher „idealer Temperaturstrahler" müßte also nur Licht und gar keine Wärmestrahlen aussenden, oder nach dem Kirchhoff'schen Gesetze die Lichtstrahlen vollständig absorbieren, die Wärmestrahlen aber vollkommen reflektieren oder durchgehen lassen. Ob es einen solchen Körper gibt, ist allerdings sehr fraglich; er würde aber bei Rotglut nur $\frac{1}{1000}$ und selbst bei Weißglut nur etwa $\frac{1}{100}$ der Energie verbrauchen, wie ein absolut schwarzer Körper.

Alle unsere auf Temperaturstrahlung beruhenden Leuchtkörper, — auch der Auerstrumpf, die Nernstlampe und der Osmiumfaden, scheinen dem schwarzen Körper in ihren Strahlungseigenschaften näher zu liegen als dem „idealen Strahler"; nur die sogenannten bunten Bogenlampen, bei denen glühende Dämpfe an der Lichtemission beteiligt sind, also die Lumineszenz ins Spiel tritt, scheinen hier eine Ausnahme zu bilden. Glühende Gase senden ja bekanntlich überhaupt nur Strahlen von ganz bestimmter Wellenlänge aus, und hier ist vielleicht eine rationelle Entwicklung der Leuchttechnik am ebesten zu erwarten.

Haben wir am schwarzen Körper das Maximum der Strahlung studieren können, so ist es wohl auch interessant, das Minimum der Strahlung in unsere Betrachtungen zu ziehen. Hiezu eignet sich das blanke Platin in vorzüglicher Weise, da es infolge seiner ausgezeichneten Reflexionsfähigkeit von allen festen und feuerbeständigen Substanzen am wenigsten der auftreffenden strahlenden Energie absorbiert, daher auch das geringste Emissionsvermögen besitzt.

In Fig. 6 sind die Resultate einer Versuchsreihe von Lummer und Pringsheim*) über die Strahlung blanken Platins graphisch in gleicher Weise, wie jene für den schwarzen Körper (Fig. 5, p. 16), dargestellt, nur sind die Ordinaten mit Rücksicht

*) l. c.

auf das weit geringere Emissionsvermögen des blanken Platins hier in einem anderen, größeren Maßstabe aufgetragen. Auch hier liegt der Hauptteil der ausgestrahlten Energie — bis zu den höchsten Temperaturen hinauf — im unsichtbaren Teile des Spektrums, und es ergibt sich, daß auch beim Platin-Beleuchtungskörper die Ökonomie nicht erheblich größer ist als beim schwarzen Körper, daß also, da wohl die meisten festen Strahler in ihrem Emissionsvermögen zwischen diesen beiden liegen, auf diese Weise wenig Hoffnung besteht, große Erfolge in der Leuchttechnik zu erzielen.

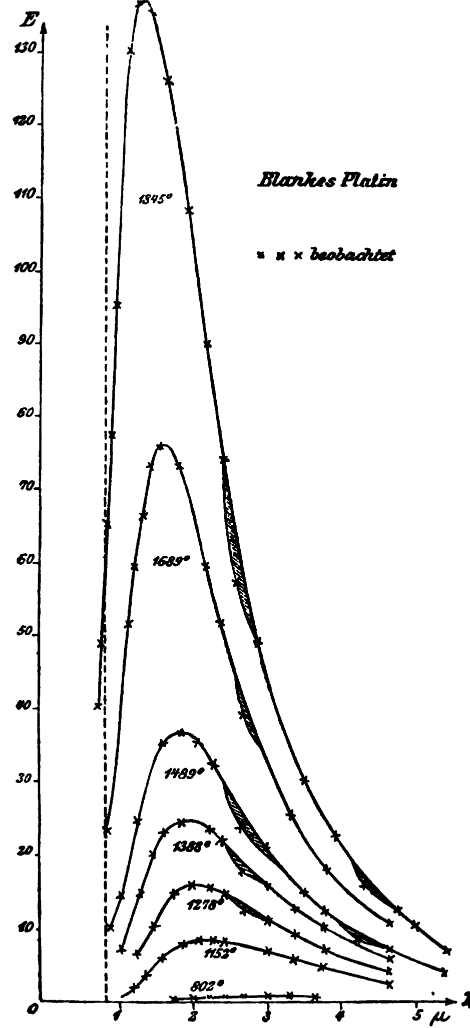


Fig. 6. (Nach Lummer, „Ziele d. Leuchttechnik").

Zur Vervollständigung des eben Gesagten mögen noch in Fig. 7 Diagramme gegeben werden, welche die Energieverteilung in der Nernstlampe (2500° C) und in einer gewöhnlichen Glühlampe mit starkem Faden (2200° C) darstellen. Die scharf gezogenen Kurven entsprechen den tatsächlich gemessenen Energiestrahlungen, während die punktierten Kurven die Strahlung des schwarzen Körpers bei der betreffenden Temperatur geben. Wo sich beide Kurven schneiden (wie bei der Glühlampe bei etwa 2·8 μ), macht sich die Absorption der Glasbirne bemerklich, da Glas alle Wellen von 3 μ aufwärts so gut wie vollständig absorbiert.

5. Das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz der Gesamtstrahlung. Im Jahre 1879 stellte Stefan*) auf Grund der damals

*) Ber. d. k. Akad. in Wien, II. Serie, 79, 2. Abtleil., p. 391—428 (1879).

vorliegenden Tatsachen den Satz auf, daß die gesamte, von einem Körper ausgestrahlte Energie, also seine Gesamtstrahlung, der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur proportional sei. Später wies Boltzmann auf Grund der elektromagnetischen Lichttheorie*) nach, daß dieses Gesetz nur für den absolut schwarzen Körper Geltung haben könne. Lummer und Pringsheim waren dann die ersten, welche die Gültigkeit dieses Gesetzes für den schwarzen Körper experimentell nachwiesen und überdies noch zeigten, daß beim blanken Platin die Gesamtstrahlung der fünften Potenz der absoluten Temperatur proportional ist.

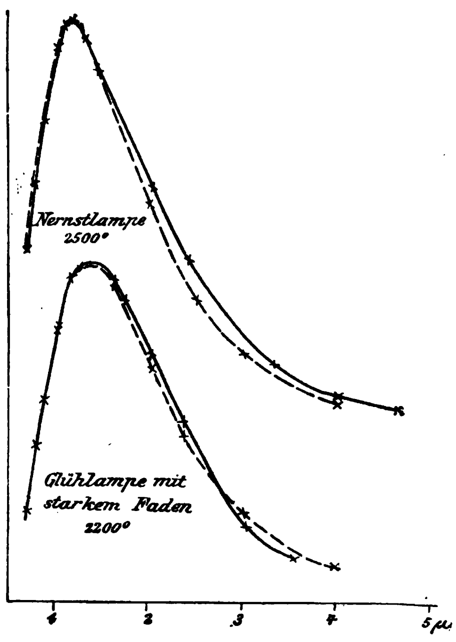


Fig. 7 (nach Lummer, „Ziele der Leuchttechnik").

Wie genau das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz für die schwarze Strahlung gilt, zeigen folgende Beobachtungen von Lummer und Pringsheim.

1 Art des schwarzen Körpers	2 absolute Temperatur, beobachtet T	3 reduzierter Ausschlag, Galvanometer	4 C . 10^{10}	5 Absolute Temperatur, berechnet T'	6 T—T'
Siedetopf . .	373·1	156	127	374·6	— 1·5°
Salpeterkessel .	492·5	638	124	492·0	+ 0·5
" .	720·0	3320	124·8	724·3	— 1·3
" .	745	3810	126·6	749·1	— 4·1
Schamotteofen	810	5150	121·6	806·5	+ 3·5
" .	868	6910	123·3	867·1	+ 0·9
" .	1378	44700	124·2	1379	— 1
" .	1470	57400	123·1	1468	+ 2
" .	1497	60600	120·9	1488	+ 9
" .	1535	67800	122·3	1531	+ 4
		Mittel	123·8		

*) Wiedemanns Ann., 22, p. 31, und 291—294 (1884).

Die Temperaturen der Kolumne 2 beziehen sich auf die Temperaturskala von Holborn und Day und wurden mittels Luftpyrometer ermittelt. Die nächste Kolumne enthält die Strahlungsenergie des schwarzen Körpers bei der betreffenden Temperatur, angegeben im bolorimetrisch gemessenen und auf gleiches Maß reduzierten Galvanometerausschlag. Die Bolorimetertemperatur betrug 17^0 C = 290^0 absolut. Somit muß, wenn A den reduzierten Ausschlag bedeutet, nach dem Stefanschen Gesetze

$$A = C\,(T^4 - 290^4)$$

sein. Die (mit 10^{10} multiplizierte) Konstante dieser Gleichung ist in Kolumne 4 angegeben. Die nächste Kolumne enthält die mit dem Mittelwerte dieser Konstanten aus dem reduzierten Ausschlage berechnete absolute Temperatur T', während die letzte Reihe die Differenzen T — T' zwischen beobachteter und berechneter Temperatur gibt.

Einen weiteren Beweis für die Richtigkeit unseres Gesetzes bei der schwarzen Strahlung gibt übrigens auch das Diagramm Fig. 5, da sich in demselben die Energieflächen tatsächlich wie die vierten Potenzen der absoluten Temperaturen verhalten.

Man kann übrigens mit Boltzmann dieses Gesetz in sehr einfacher Weise aus den Gleichungen:

$$\begin{aligned} Q &= A - U \\ &= A - q_0 \end{aligned} \qquad (1$$

und

$$Q = \frac{dA}{dT} \cdot T^{*)} \qquad (2$$

oder besser aus ihrer Kombination:

$$U = A - T\frac{dA}{dT} \qquad (3$$

ableiten, wenn man bedenkt, daß die Strahlung als fortschreitende Wellenbewegung auf den getroffenen Körper einen Druck (Strahlungsdruck) ausüben muß. Ebenso, wie in der kinetischen Gastheorie bei den Stößen, welchen die nach allen Richtungen sich bewegenden Gasmoleküle auf die ebene Wand des sie umschließenden Gefäßes ausüben, kann man sich auch hier den von einer allseitigen Strahlung gegen eine absolut schwarze Fläche ausgeübten Druck dadurch zu stande gekommen denken, daß nur $^1/_3$ aller auftreffenden Strahlen — diese aber alle senkrecht zur bestrahlten

*) Chem. Technol. d. Energien, I., 2, p. 208, und II., p. 2.

Fläche — zur Wirksamkeit gelangen. Dasselbe gilt natürlich auch von den von einem schwarzen Körper ausgesendeten Strahlen. Da nur ein schwarzer Körper alle auf ihn auftreffenden Strahlen absorbiert, müssen dieselben senkrecht gegen seine Oberfläche einen Druck ausüben, der $^1/_3$ der auftreffenden Gesamtstrahlung gleichkommt. Soll nun ein Gleichgewicht bei maximaler Arbeitsleistung, bei allseitiger Bestrahlung des schwarzen Körpers und bei konstanter Temperatur eintreten, so muß, während der Körper die Strahlungsenergie E aufnimmt, die Arbeit $\frac{E}{3}$ geleistet, d. i. abgegeben werden. Setzen wir daher die Abgabe der Gesamtenergie

$$U = -E$$

und die abgegebene Arbeit

$$A = \frac{E}{3},$$

so folgt hieraus

$$-E = \frac{E}{3} - \frac{T}{3}\frac{dE}{dT}$$

oder

$$4E = T \cdot \frac{dE}{dT}, \qquad (4$$

eine Gleichung, die sich auch schreiben läßt:

$$4\frac{dT}{T} = \frac{dE}{E}$$

und durch deren Integration man erhält:

$$4 \ln T = \ln E + \text{const.}$$

was nichts anderes ist als das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz.

6. Gesetze, welche sich auf das Maximum der Energiestrahlung beziehen.

Schon Fig. 5 zeigt, daß die Strahlungsenergie jeder Wellenlänge mit der Temperatur wächst, sowie daß diese Energievermehrung um so größer ist, mit je kleineren Wellenlängen wir zu tun haben. Das entspricht auch ganz der bekannten Beobachtung, daß das Glühen der festen Körper mit der Rotglut beginnt und mit steigender Temperatur allmählich zur Weißglut übergeht. Gleichzeitig ergibt sich hieraus aber auch, daß das Maximum der Strahlungsintensität mit steigender Temperatur nicht allein wächst,

sondern sich auch gegen die kürzeren Wellenlängen hin verschiebt. Nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetze gelten nun für die Maximalstrahlung des schwarzen Körpers bei der Temperatur T die beiden Ausdrücke

$$\lambda m \cdot T = \text{const.}' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5$$

und

$$E m \cdot T^{-5} = \text{const.}'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6$$

d. h. in Worten:

α) Das Produkt aus der absoluten Temperatur und der Wellenlänge, bei welcher die Energiestrahlung ein Maximum erreicht, ist konstant, und

β) die maximale Energiestrahlung ist der fünften Potenz der absoluten Temperatur proportional.

Die folgende Tabelle, welche sich auf die in Fig. 5 gegebenen Kurven bezieht, zeigt die Richtigkeit dieser Gesetze:

T absolut	λ_m	E_m	$\lambda_m . T$	$\frac{E_m}{T^5}$	T' berechnet	Differenz T — T' in Graden
1646	1·78	270·6	2928	2246	1653·5	+ 7·5
1460·4	2·04	145·0	2979	2184	1460	— 0·4
1259	2·35	68·8	2959	2176	1257·3	— 1·5
1094·5	2·71	34·0	2966	2164	1092·3	— 2·2
998·5	2·96	21·50	2956	2166	996·5	— 2·0
908·5	3·28	13·66	2980	2208	910·1	+ 1·6
723	4·08	4·28	2950	2166	721·5	— 1·5
621·3	4·53	2·026	2814	2190	621·3	+ 0·1
		Mittel	2940	2188		

Man kann dieses Gesetz dazu benützen, um zu berechnen, bei welcher Temperatur das Strahlungsmaximum des schwarzen Körpers im gelbgrünen Teile des Spektrums, für welchen unser Auge am empfindlichsten ist, d. i. bei $\lambda = 0·5\,\mu$, liegen würde. Wir erhalten so

$$\lambda_m = 0·5\,\mu = \frac{2940}{T},$$

und somit

$$T = 5880^0 \text{ absolut},$$

d. i. eine Temperatur, welche ungefähr jener der Sonne*) entspricht, aber derzeit technisch noch nicht realisiert werden kann.

7. Gesetz der Energieverteilung im Spektrum (Spektralgleichung). Die ältesten bolometrischen Messungen über die Energieverteilung im Spektrum der Sonne sowie verschiedener Körper rühren von S. P. Langley**) her und es wurden seither zahlreiche Versuche gemacht, auf Grund kinetischer, thermodynamischer und elektromagnetischer Anschauungen Gleichungen zu finden, welche diese Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers darstellen. Alle die so gewonnenen „Spektralgleichungen" führten jedoch zu wenig befriedigenden Resultaten, wie die gestrichelten Kurven der Fig. 5 zeigen, die der von M. Plank***) auf Basis der elektromagnetischen Lichttheorie entwickelten Gleichung entsprechen. Auf Grund der Kurve von Lummer und Pringsheim hat endlich Plank†) folgende Spektralgleichung vorgeschlagen und theoretisch zu begründen versucht:

$$S = \frac{C \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}. \tag{7}$$

In derselben bedeutet S die Strahlungsenergie des schwarzen Körpers für die Wellenlänge λ bei der absoluten Temperatur T; e ist die Basis der natürlichen Logarithmen, während C und c zwei Konstanten bedeuten. Diese Gleichung fand noch weitere Bestätigung durch die Versuche von H. Beckmann††), sowie von H. Rubens und F. Kurlbaum†††) über die Abhängigkeit der schwarzen Strahlung von der Temperatur für einige lange Wellen. Diese Gleichung gibt transformiert:

$$S = C.\lambda^{-5}.e^{-\frac{c}{\lambda T}} \left(\frac{1}{1 - e^{-\frac{c}{\lambda T}}} \right), \tag{7a}$$

einen Ausdruck, der sich für kurze Wellen vereinfachen läßt, weil bei diesen $\frac{1}{1 - e^{-\frac{c}{\lambda T}}}$ für alle erreichbaren Temperaturen sehr annähernd $= 1$ ist.

---

*) Chem. Technol. d. Energien, I., 1, p. 74, 76, 77.

**) Ann. Chim. et Phys., 6. Série, T. 9, p. 433—479 (1886).

***) Sitzber. der Berliner Akad. 1897, p. 57, 715, 1122; 1898, p. 449; 1899, p. 440—480; Ann. d. Phys., I; p. 69—1122 und p. 719—737 (1900).

†) Verhdlg. d. d. phys. Ges. 2, p. 202—204 (1900).

††) Inaug. Dissert. 1898.

†††) Sitzber. der Berliner Akad. 1900, p. 929 — 941; Ann. d. Phys., 4, p. 649—666 (1901).

Man erhält so:

$$\ln S = \ln C - 5 \ln \lambda - \frac{c}{\lambda T} \qquad (8$$

oder für Strahlen derselben Wellenlänge bei den Temperaturen T' und T'':

$$\ln \frac{S'}{S''} = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T''} - \frac{1}{T'}\right). \qquad (9$$

Hierin ist nach den Beobachtungen von Lummer und Pringsheim c = 14600 zu setzen. Auf dieser Gleichung beruht das optische Pyrometer von Wanner*).

8. Abhängigkeit der Helligkeit einer einzelnen Farbe von der Temperatur.

Während die Gesamtstrahlung der vierten, die Energie des Maximums aber der fünften Potenz der absoluten Temperatur proportional wächst, steigt die Helligkeit der sichtbaren Strahlung noch weit rascher. Die Beziehungen zwischen Helligkeit und Temperatur der einzelnen Strahlen lassen sich nun entweder aus der oben gegebenen Spektralgleichung ableiten od. mittels des Spektralphotometers unmittelbar messen. Die so für eine bestimmte Farbe (Wellenlänge) und verschiedene Temperatur ermittelten Helligkeiten geben dann bei ihrer graphischen Darstellung „isochromatische Kurven", die eine besonders einfache Gestalt annehmen, wenn man, wie in Fig. 8, die reziproken Werte der Temperatur, $\frac{1}{T}$, als Abszissen, die Logarithmen der als Licht empfundenen Energie, log E, aber als Ordi-

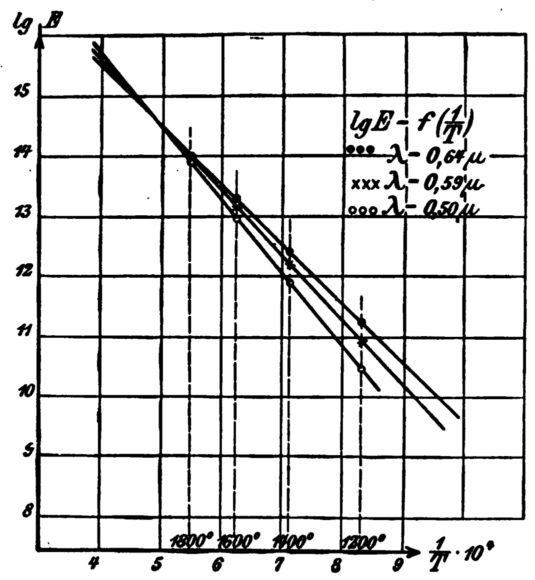


Fig. 8 (nach Lummer, „Ziele der Leuchttechnik").

*) Chem. Technolog. d. Energien, I, 1, p. 78.

naten wählt. Man erhält nämlich dann gerade Linien.*) Die in der Figur gegebenen Kurven wurden von Lummer und Pringsheim mittels eines Lummer-Brodhun'schen Spektralphotometer ermittelt. Die steile Lage dieser Linien zeigt, daß sich die Helligkeit mit der Temperatur enorm rasch ändert. So wächst die Helligkeit des Natriumlichtes ($\lambda = 0{\cdot}589\ \mu$) auf das Doppelte, wenn die Temperatur des schwarzen Körpers von 1800° auf 1875°, also nur um 4% erhöht wird. Noch schneller wächst die Helligkeit im blauen Teile des Spektrums, während sie um so langsamer mit der Temperatur ansteigt, je weiter die Welle nach dem Ultrarot liegt.

9. Abhängigkeit der Gesamthelligkeit von der Temperatur. Für die Gesamthelligkeit der sichtbaren Strahlung hat zuerst Rasch**), dann auf weit einfacherem Wege Haber***) einen einfachen Ausdruck gefunden. Haber geht von Gleichung (9) aus, die für jede beliebige einzelne Wellensorte des sichtbaren Spektrums gilt. Er faßt das ganze sichtbare Strahlengebiet von $0{\cdot}4$ bis $0{\cdot}8\ \mu$ Wellenlänge, das ja im Vergleiche zu dem ganzen bolometrisch wirksamen Strahlungsgebiete recht schmal ist, als eine Verbreiterung der mittleren Wellenlänge $0{\cdot}6\ \mu$ auf. Man erhält so für die ohne spektrale Zerlegung photometrisch meßbare Flächeneinheit des schwarzen Körpers bei den Temperaturen T′ und T″ die Helligkeiten H′ und H″, und somit

$$\ln \frac{H'}{H''} = \frac{c}{0{\cdot}6}\left(\frac{1}{T''} - \frac{1}{T'}\right)$$

$$= \text{const.}\left(\frac{1}{T''} - \frac{1}{T'}\right) \quad \ldots\ldots \quad (10$$

Die Konstante ergibt sich, wenn man mit Wanner den nicht ganz sicheren Wert $c = 14500$ einsetzt, zu 24170. Bezeichnen wir jene Temperatur, bei welcher die Flächenhelligkeit des absolut schwarzen Körpers (pro 1 mm^2) = 1 Hefnerkerze†) ist, mit $T_{H=1}$, so geht der Ausdruck über in

$$\ln H' = \text{const.}\left(\frac{1}{T_{H=1}} - \frac{1}{T'}\right)$$

oder, wenn wir $\frac{\text{const.}}{T_{H=1}} = \alpha$ setzen,

$$\ln H' = \alpha\left(1 - \frac{T_{H=1}}{T'}\right) \ldots\ldots\ldots \quad (11$$

*) H. Wanner, Ann. d. Phys. II., p. 141—157 (1900); O. Lummer und H. Pringsheim, Verhdlg. d. D. phys. Ges., 3, p. 36—46 (1901).

**) Drudes Annalen 14 (1904).

***) Thermodynamik techn. Gasreactionen, p. 271.

†) Siehe unten.

Eine Prüfung dieses Ausdruckes an den Beobachtungen von Lummer und Pringsheim sowie von Nernst*) über die Gesamthelligkeit gibt, wenn man mit Rasch $\alpha = 12{\cdot}943$ und $T_{H=1} = 2068{\cdot}4^0$ abs. setzt, folgende Zahlen:

Nr.	°C	Helligkeit in Hefnerkerzen	
		beobachtet	berechnet
1	1175	0·0042	0·0039
2	1325	0·0220	0·0222
3	1435	0·0635	0·0653
4	1690	0·50	0·500
5	1690	(0·47)	0·500
6	1780	0·91	0·909

Der von Nernst herrührende Wert 5 wurde anscheinend durch Extrapolation bestimmt. 1780^0 ist der Schmelzpunkt des Platins nach Holborn und Wien.

Aus $\alpha = 12{\cdot}943$ und $c = 14600$ (Lummer und Pringsheim) ergibt sich für die mittlere Wellenlänge der sichtbaren Strahlen statt $0{\cdot}6\ \mu$ der Wert $0{\cdot}55\ \mu$ als genauerer Wert.

Anderseits aber fanden Lummer und Kurlbaum**) für die Gesamtstrahlung des blanken Platins den Ausdruck:

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{T'}{T''}\right)^x \qquad (12$$

worin x mit der Temperatur variiert, also nur innerhalb eines kleinen Temperaturintervalles konstant ist. Aus (12) folgt

$$\ln\frac{H'}{H''} = x \ln\frac{T'}{T''}$$

oder für $T' - T'' = \Delta T$

$$\ln\frac{T'}{T''} = \ln\frac{T'' + \Delta T}{T''} = \ln\left(1 + \frac{\Delta T}{T''}\right)$$

$$= \frac{\Delta T}{T''} = \frac{T' - T''}{T''}.$$

Setzen wir diesen Wert ein, so erhalten wir:

$$\ln\frac{H'}{H''} = x.\frac{T' - T''}{T''}. \qquad (13$$

Dieser Ausdruck wird aber mit dem früher entwickelten identisch, wenn wir $x = \frac{\text{const.}}{T'}$ setzen, denn wir erhalten dann:

*) Phys. Zeitschr. 4, p. 733 (1903).
**) Verhdlg. d. D. phys. Ges. 2, p. 91 (1900).

$$\ln . \frac{H'}{H''} = \text{const.} \frac{T' - T''}{T'.T''}$$
$$= \text{const.} \left(\frac{1}{T''} - \frac{1}{T'}\right) \quad (14$$

Die folgende Tabelle gibt die Versuchsdaten von Lummer und Kurlbaum über blankes Platin, denen noch das Produkt x.T beigefügt wurde, das, wie diese Zahlen zeigen, tatsächlich nahezu konstant ist:

absolute Temperatur	Exponent x	Produkt x.T
900	30	27000
1000	25	25000
1100	21	23100
1200	19	22800
1400	18	25200
1600	15	24000
1900	14	26600
	Mittel =	24920

Hieraus ergibt sich bei blankem Platin und der mittleren Wellenlänge 0·55 μ für die Konstante . . . . . c = 13706
während nach Rasch für den schwarzen Körper . c = 14500
ist. Diese beiden Werte entsprechen übrigens ziemlich genau dem für diese beiden Grenzfälle von Lummer und Pringsheim ermittelten Unterschiede

$$\lambda_m T = 2940 \text{ (schwarzer Körper)}$$
$$= 2630 \text{ (blankes Platin).}$$

III. Kapitel.

Kritik der verschiedenen Beleuchtungsarten vom theoretischen Standpunkte.

Aus den vorstehenden Angaben zeigt sich, wie sehr die Helligkeit mit steigender Temperatur wächst, und hieraus ergibt sich neben dem früher erwähnten ersten Ziele der Leuchttechnik, überhaupt ideale Leuchtkörper zu finden, als zweites die Aufgabe, solche ideale Leuchtkörper zu suchen, welche, auf die höchst mögliche Temperatur erhitzt, feuerbeständig sind.

Am Schlusse dieser einführenden Betrachtungen möge eine kritische Besprechung Lummers*) über die Lichtquellen und ihren physikalischen Wert der Hauptsache nach wiedergegeben werden:

Die gewöhnlichen Flammen, die Kerze, die Gasflamme, die Acetylenflamme, u. s. w., sind nach ihrer ganzen Art der Entstehung als gegebene Größen zu betrachten, da bei ihnen notwendig der im feinsten Zustande ausgeschiedene Kohlenstoff leuchtet und dieser jedenfalls nur diejenige Temperatur annehmen kann, welche durch die Verbrennung des betreffenden Kohlenwasserstoffes entsteht. Diese ist bei der Kerze, der Petroleumflamme und der Gaslampe relativ klein, und, da der leuchtende Kohlenstoff an „Schwärze" dem absolut schwarzen Körper nicht viel nachsteht, so leuchten diese Flammen sehr unökonomisch und nehmen mit die letzte Stelle der photometrisch-ökonomischen Reihe ein. Je nach der Beschaffenheit der Brenner ist natürlich die Temperatur und demnach auch die Ökonomie eine verschiedene.

Auf den ersten Blick erscheint es auffallend, daß bei einer Ordnung der Lichtquellen nach ihrem physikalischen Werte das Acetylenlicht, dessen Temperatur rund 3000° beträgt, mit der gewöhnlichen Gasflamme von nur 2000° dieselbe Stelle einnimmt. In beiden Flammen leuchtet der fein verteilte glühende Kohlenstoff, und es müßte daher nach Lummer, der annimmt, daß sich die Helligkeiten bei so hohen Temperaturen wie die 12. Potenzen der Temperatur verhalten, die Acetylenflamme etwa 130mal heller als die Gasflammen leuchten, was allerdings wohl nicht ganz richtig ist. Jedenfalls bleibt aber ein Mißverhältnis zwischen der theoretischen und der tatsächlichen Ökonomie dieser beiden Lichtquellen bestehen, das nur teilweise durch den Preisunterschied (1000 Liter Leuchtgas = 0·13 M., 1000 Liter Acetylen 1·50 M.) erklärt wird. Wahrscheinlich spielt hier, wie Lummer richtig bemerkt, die Dichte der leuchtenden Acetylenflamme eine Rolle, deren Einfluß bisher noch wenig studiert ist.**)

Beim Gasglühlicht und jenen Lichtquellen, bei denen feste Leuchtsubstanzen in beliebiger Auswahl zum Glühen erhitzt werden, haben wir einen größeren Spielraum. Bei der nichtleuchtenden Gas-, Knallgas- und Acetylenflamme und allen ähnlichen „Gasglühlichtern" in des Wortes weitester Bedeutung ist nur die Temperatur gegeben, während die Wahl der Leuchtsubstanz in unserem Belieben steht. Abgesehen hievon ist von allen diesen

*) Ziele der Leuchttechnik, p. 106 ff.

**) Siehe Chem. Technologie d. Energien, I, 2. p. 37—40.

Lichtquellen diejenige die ökonomischeste, bei der, wie beim „Knöflerlicht“ (Kreide in der nichtleuchtenden Acetylenflamme), die Temperatur wohl den höchsten Wert erreicht. Freilich hängt der Leuchteffekt auch hier nicht unwesentlich ab von der Art der leuchtenden Substanz und davon, ob diese auch die Temperatur der Flamme anzunehmen im stande ist. In dieser Beziehung dürfte der Auerstrumpf einzig dastehen, und falls es gelänge, einen Glühstrumpf gar aus „idealer“ Leuchtsubstanz herzustellen, welche die ganze Energie in Licht umsetzte und keine Wärmestrahlen aussendete, so wäre hier noch eine gewaltige Verbesserung der Ökonomie zu erhoffen.

Daß die elektrischen Glühlichter, die gewöhnliche Glühlampe, die Nernstlampe und die Osmiumlampe, trotz ihrer relativ hohen Temperatur mit dem Gasglühlicht nicht zu konkurrieren vermögen, liegt einfach am Preise des bei ihnen verwendeten Heizmateriales, des elektrischen Stromes. Auch für sie gilt, daß die Ökonomie um das zehn- und mehrfache steigen würde, wenn die bisherigen Glühsubstanzen durch „idealere“ ersetzt werden könnten. Hier vor allem ist der technischen Forschung noch ein weites Feld eröffnet. Solange jedoch der „ideale“ Leuchtkörper noch nicht gefunden ist, gilt es, wenigstens das zweite Ziel zu erreichen und Stoffe zu suchen, die durch den elektrischen Strom auf die größtmögliche Temperatur erhitzt und auf ihr dauernd gehalten werden können. Was allein durch Steigerung der Temperatur erreicht werden kann, läßt sich durch ein einfaches Experiment mit einer gewöhnlichen Glühlampe zeigen.

Montiert man auf ein Schaltbrett eine 45 Volt-Lampe, die eine Lichtstärke von 16 Kerzen besitzt, so kann man durch Ausschalten von Widerstand die Spannung an den Enden der Lampe ganz allmählich bis auf 110 Volt steigern, während man die Größe der Spannung und die Stromstärke an den am Schaltbrette montierten Meßapparaten beobachtet. Im Normalzustande verbraucht die Lampe 45 Volt und 1·3 Ampère, also $45 \times 1{\cdot}3 = 58{\cdot}5$ Watt, und gibt dafür 16 Kerzen. Nun verkleinert man den Ballastwiderstand, bis das Voltameter 95 Volt und das Ampèremeter rund 3 Ampère anzeigt, so daß die Lampe etwa 285 Watt verbraucht. Die Lichtstärke dieser einzelnen Lampe ist jetzt so groß, daß sie hinreicht, einen großen Saal zu erleuchten.

Um die Lichtstärke unserer Lampe zu ermitteln, wollen wir annehmen, daß dieselbe nahe am Zerplatzen angelangt sei. Nach pyrometrischen Messungen von Holborn und Kurlbaum geschieht dies durchschnittlich bei rund 3000° abs., während eine

Glühlampe im Normalzustande eine Temperatur von rund 2000° besitzt. Gilt die Annahme Lummers, daß sich die Helligkeit proportional der 12. Potenz der Temperatur ändert, so muß die überhitzte Glühlampe im Momente des Zerspratzens rund $\left(\frac{3}{2}\right)^{12}$ oder 130mal mehr Licht aussenden, als bei normaler Beanspruchung, so daß die Helligkeit der Lampe kurz vor dem Zerspratzen des Fadens $16 \times 130 = 2080$ Kerzen beträgt. Der Energiesteigerung von 1:5 steht demnach eine Helligkeitsvermehrung von 1 auf 130 gegenüber,*) das entspricht einer Ökonomieerhöhung von 1 auf $\frac{130}{5} = 26$. Kostet im Normalzustande die Kerze mittlerer räumlicher Lichtstärke 3·5 Watt, so jetzt nur noch

$$\frac{3 \cdot 5}{26} = 0 \cdot 16 \text{ Watt}$$

oder kaum 0·65 Pfennige. Unsere Lampe liefert also jetzt von allen existierenden Lichtquellen das billigste Licht. Aber diese Ökonomie und abnorme Billigkeit ist teuer erkauft, denn es dauert nicht lange, und der Glühfaden zerspratzt. Wenn somit diese enorme Ökonomiesteigerung vorläufig auch noch von keinem praktischen Werte ist, so führt uns dieses Experiment doch zu dem wichtigen Resultate, daß es schon heute von größerem Nutzen ist, drei überhitzte Glühlampen von nur je 300 Stunden Brenndauer anzuwenden, als eine normal brennende Glühlampe von 1000 Brennstunden Lebensdauer. In der Praxis macht man es auch schon ähnlich, indem Lampen von 105 oder 100 Volt als 110 Voltlampen geliefert werden. Dieses Verfahren sollte jedoch zum Prinzip erhoben und danach gestrebt werden, die Herstellung der gewöhnlichen Glühlampen zu verbessern und die Herstellungskosten noch weiter zu verringern, um trotz Mehrbelastung infolge des großen Lampenverbrauches dennoch durch eine mäßige Überhitzung des Glühfadens und reichlichere Lichtentwicklung an Ökonomie zu gewinnen. Der größere Konsum von Glühlampen begrenzter Lebensdauer wird an sich schon zu einer Verbilligung der Lampen beitragen und zielbewußte Versuche in genannter Richtung werden bald die jetzt fast verächtlich behandelte „gewöhnliche" Kohlenfaden-Glühlampe zu neuem, schönerem Glanz erstehen lassen. „Denn so bestechend und vielversprechend auch ihre „Kinder", die Nernst- und Osmiumlampe sind, an Ökonomie wird sie vorläufig wenigstens von beiden kaum um das Doppelte übertroffen; dafür aber hat sie

*) In Wirklichkeit wird das Verhältnis etwas kleiner werden.

noch immer den Vorzug der Einfachheit und leichteren Herstellung voraus."

Die größere Ökonomie der Nernstlampe sucht Lummer hauptsächlich in der erhöhten Temperatur des Glühfadens, und erst in zweiter Linie in den eventuell günstigeren Strahlungseigenschaften der Glühsubstanz. Diese Schlußfolgerung beruht allerdings einerseits auf der Annahme, daß auch die Leuchtsubstanz der Nernstlampe in die Gruppe: Platin — schwarzer Körper gehört (woraus sich die Temperatur dieser Lampe zu 2300° berechnet), anderseits aber auf der Voraussetzung, daß sich ihre Helligkeit zu jener der gewöhnlichen Glühlampe wie $\left(\frac{2300}{2000}\right)^{10}$ verhalte, wonach sie viermal so stark leuchten sollte als letztere, während ihre Leuchtkraft tatsächlich nur doppelt so groß ist.

Aus der Farbe des Osmiumlichtes schließt Lummer, daß seine Temperatur gleichfalls weit höher als jene der gewöhnlichen Glühlampe sei. Messungen hierüber fehlen noch. Es ist daher noch nicht möglich zu entscheiden, ob die Ökonomiesteigerung bei ihr mit der Temperatursteigerung Schritt hält oder nicht.

Die höchste (irdische) Temperatur wurde bisher in der elektrischen Bogenlampe erreicht, welche durch die Verdampftemperatur der Kohle begrenzt ist. Diese enorme Temperatur von rund 4000° abs.*) ist auch die Ursache dafür, daß trotz des bedeutenden Energieverlustes bei der Herstellung der elektrischen Heizkraft das Licht der Bogenlampe mit an erster Stelle der photometrisch-ökonomischen Reihe steht. Ob die Kohle später einmal durch idealere Strahlungskörper ersetzt werden kann, muß die Zukunft lehren.

Ein erster Schritt, wenn auch auf ganz anderem Wege, ist bereits geschehen, um den Effekt und die Ökonomie der Bogenlampe zu erhöhen. Durch Einführung geeigneter Salze in den Flammenbogen ist tatsächlich ein technischer Fortschritt in der Richtung erzielt worden, günstigere und idealere Leuchtstoffe zum Leuchten zu bringen. Diese im Flammenbogen zu enormer Temperatur erhitzten Dämpfe von Fluorcalcium, von Lithium-, Strontium- und anderen Salzen senden nämlich kein kontinuierliches Spektrum aus, sondern emittieren hauptsächlich farbige Lichter. Mit Hilfe eines kleinen Spektroskopes kann man sich leicht davon überzeugen, daß beispielsweise das Licht der „Effektbogenlampen" von Siemens & Halske A. G. von außerordentlich hellen, lichtstarken Spektrallinien durchzogen ist. Sie rühren von den im Flammenbogen glühenden Salzen her, mit denen die Kohlen

*) Nach Grau und Russ tritt hier jedoch auch Lumineszenz ins Spiel.



der Bogenlampen getränkt sind. Diese neuen Bogenlampen stellen somit das Bindeglied zwischen der reinen Temperaturstrahlung und dem Leuchten farbiger Dämpfe infolge Lumineszenz her, wenn auch die Strahlung der festen Elektroden infolge ihrer hohen Temperatur die Leuchtwirkung an erster Stelle bedingt.

Beim Quecksilberlicht in den Quecksilberbogenlampen scheint, wie aus mehrfachen Gründen folgt, die Temperaturstrahlung sogar ganz ausgeschlossen. Damit wären wir tatsächlich bei der Lumineszenzlampe in technisch verwertbarer, ökonomischer Form angelangt.

Wichtige Fortschritte in der Leuchttechnik sind somit in der Auffindung genügend feuerfester und möglichst „idealer“ Leuchtkörper zu erhoffen, was freilich nur durch systematisch angestellte Untersuchungen zu erreichen ist. Im Bestreben, die Temperatur noch über jene der Kohlen-Bogenlampe zu erhöhen, darf man jedoch keinesfalls über die Sonnentemperatur hinausgehen, weil hier das Maximum der Strahlung auf jene Stelle des Spektrums fällt, für welche unser Auge am empfänglichsten ist.

Wie aus vorstehendem ersichtlich, ist es die ideale Aufgabe der Leuchttechnik, vorhandene Energie möglichst vollständig in strahlende umzuwandeln und hiebei die Bildung von zu langen oder zu kurzen Wellen tunlichst zu vermeiden.

Unsere gewöhnlichen Beleuchtungsarten beruhen auf der Strahlung stark erhitzter Körper (Temperaturstrahlung) und für diese Beleuchtungsart gelten auch die im vorigen Kapitel entwickelten Strahlungsgesetze. Das Ideal der Leuchttechnik hingegen wäre, die Emission von Licht bei relativ niederer Temperatur zu erzielen, also kalte Flammen herzustellen oder Licht am Wege der Fluoreszenz oder Lumineszenz zu gewinnen. Wenn dieses Ideal auch heute technisch noch nicht erreicht werden kann, so wird es doch am Platze sein, wenigstens kurz die bisher bekannten hieher gehörigen Leuchtarten zu besprechen.

Die gleichfalls hieher gehörigen Lichterscheinungen, wie sie die Leuchtkäfer, das Meerleuchten oder faules Holz (Irrlichter) darbieten und über deren Entstehung uns noch nichts Näheres bekannt ist, brauchen wohl bloßer Erwähnung. Mehr Aussicht, praktische Verwendung zu finden, haben hingegen die glühenden Gase, wie sie von den Geißler'schen Röhren her bekannt sind. Läßt man einen Ruhmkorffschen Induktionsapparat sich durch eine derartige, mit verdünntem Gase gefüllte Röhre entladen, so sendet letztere Licht aus, dessen Farbe von der

Natur des eingeschlossenen Gases abhängt. Die Wärmeentwicklung derartiger Röhren ist eine sehr geringe. Charakteristisch für die Lichtemission solcher verdünnter Gase ist die eigentümliche Schichtung, die das Licht in der Nähe des Poles zeigt. Bestehen die Geißler'schen Röhren aus fluoreszierendem Glase (Uranglas), so kommt hiezu noch das von diesem ausgesendete Fluoreszenzlicht, dessen Auftreten wir heute gleichfalls noch nicht befriedigend zu erklären vermögen.

Pumpt man eine derartige Geißler'sche Röhre immer weiter aus, so wird die Schichtung des Lichtes immer undeutlicher und schließlich hört das Leuchten des Gases ganz auf. Eine derartige Hittdorf'sche Röhre zeigt jedoch eine neue auffallende Erscheinung. Von der Kathode derselben gehen nämlich eigentümliche Strahlen — die Kathodenstrahlen — aus, die zwar als solche unsichtbar sind, aber dadurch sichtbar gemacht werden können, daß sie auf fluoreszierende Körper auftreffen. So kommt in derartige Röhren eingeschlossener Asbest oder bei anderen Röhren die Glaswand zur Fluoreszenz, wenn sie von den Kathodenstrahlen getroffen werden. Gleichzeitig senden diese Stellen der Glaswand aber auch noch die sogenannten Röntgenstrahlen aus. Während diese Röntgenstrahlen Metalle nicht zu passieren vermögen, sind andere, für gewöhnliches Licht undurchsichtige Stoffe, wie Holz, für dieselben sehr vollkommen durchlässig. Die so isolierten Röntgenstrahlen sind für das Auge eben so wenig sichtbar wie die Kathodenstrahlen, bringen aber, wie diese, fluoreszierende Stoffe (wie Baryumplatincyanür) zum Leuchten.

Während wir bisher unsere Geißler'schen oder Hittdorf'schen Röhren dadurch zum Leuchten brachten, daß wir den elektrischen Strom eines Ruhmkorff'schen Apparates direkt durch Elektroden in das Innere derselben leiteten, können wir dasselbe auch erreichen, wenn wir — ohne jede direkte Elektrizitätszuleitung — Wechselströme starker Frequenz anwenden. Wir erhalten so „elektrische Schwingungen“ — Hertz'sche Wellen — (Tesla), die unsere Geißlerröhren zum Leuchten bringen, wenn sie nur in die Nähe des Drahtes kommen, der diese Schwingungen produziert.

Die auf diesem Wege hervorgerufenen Lichterscheinungen sind dadurch besonders ausgezeichnet, daß sie die aufgewendete elektrische Energie fast vollständig in Licht umwandeln. So hat H. Ebert*) gezeigt, daß man unter den günstigsten Verhältnissen

*) „Die ökonomischsten Lichtquellen“, Eder's Jahrb. f. Photographie, 9, p. 47—49, 1895.

bei einem Aufwande von nur $\frac{1}{1000000}$ Watt eine Helligkeit von etwa $\frac{1}{40}$ Hefnerkerzen erzielen kann, so daß die verbrauchte Gesamtenergie nur etwa den 2000sten Teil von jener bei der Hefnerlampe beträgt. Wenn die praktische Einführung dieser Beleuchtungsart auch noch manche Schwierigkeiten begegnen wird, so ist man mit derselben doch jedenfalls dem Ideale schon sehr nahe gerückt!

Beleuchtungs-Technik

mit besonderer Berücksichtigung der Gas-
beleuchtung.

Beleuchtungstechnik.

I. Kapitel.

Allgemeines über leuchtende Flammen.

Von den auf Temperaturstrahlung beruhenden Leuchtkörpern lassen sich zwei Arten unterscheiden:

a) Solche, bei welchen die Temperatursteigerung durch Verbrennung in einer Flamme hervorgerufen wird (leuchtende Flammen), und

b) solche, bei denen die festen Leuchtkörper ohne Verbrennung und Flamme zum Glühen erhitzt werden.

Eine Flamme entsteht nur dort, wo Gase verbrennen; die leuchtenden Flammen stellen somit, strengegenommen, in jedem Falle eine Gasbeleuchtung dar. Man versteht jedoch unter Gasbeleuchtung gewöhnlich nur jene Beleuchtungsart, bei welcher in eigenen Apparaten erzeugtes Gas zur Verwendung gelangt, während man dort, wo das Gas erst durch die Wärmestrahlung der Flamme aus festen oder flüssigen Leuchtstoffen erzeugt und dann sofort verbrannt wird, von Kerzen-, Fackel- oder Lampenbeleuchtung spricht.

Der Vorgang, der sich bei der Entstehung leuchtender Flammen abspielt, ist sonach bei der Gasbeleuchtung am einfachsten, indem hier bloß die schon vorhandenen Gase in geeigneten Brennern verbrannt werden, während bei Anwendung flüssiger oder fester Leuchtmaterialien diese erst vergast werden müssen. Diese Vergasung selbst besteht nur in seltenen Fällen in einer einfachen Verdampfung (der bei festen Leuchtstoffen noch eine Schmelzung vorangeht), sondern gewöhnlich auch noch in einer trockenen Destillation der verwendeten organischen Leuchtmaterialien.

Als typischen Fall können wir (mit Tyndall) die Verbrennung einer Kerze wählen. Die Kerzenflamme (Fig. 9) versendet

nach allen Richtungen strahlende Energie, u. zw., wie wir früher gesehen haben, in überwiegender Menge Wärmestrahlen. Soweit dieselben den oberen Teil der Kerze treffen, bringen sie das Kerzenmaterial zum Schmelzen, das sich in der so entstehenden schüsselförmigen Vertiefung*) der Kerze sammelt. Das so erhaltene flüssige Material steigt durch Kapillarwirkung des Dochtes a in die Höhe**), gelangt so in immer intensivere Gebiete der Wärmestrahlung, wobei es verdampft und zersetzt wird. Auf diese Weise bildet sich rings um den Docht eine Gas- (bezw. Dampf-) Zone c. Die von außen zutretende Luft bewirkt die Verbrennung dieser Gase und Dämpfe und damit eine bedeutende Temperaturerhöhung. Hiedurch erwärmen sich die Verbrennungsprodukte, was im Verein mit dem zutretenden Stickstoff eine Verbreiterung der Flamme gegen oben zu verursacht. Gleichzeitig bilden sich um den Dampfraum c herum die beiden deutlich sichtbaren Zonen b und d. In der äußersten Zone d vollzieht sich unter bedeutender Wärmeentwicklung die vollständige Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser, während die von hier nach innen strahlende Wärme das in der Zone b enthaltene noch unverbrannte Material zum Glühen und damit zum Leuchten bringt.



Fig. 9 (nach Muspratt).

Die Vorgänge in einer mit flüssigem Brennmaterial gespeisten Lampe sind dieselben, nur daß hier das Schmelzen wegfällt.

Die Wahl der für Kerzen oder Lampen verwendbaren Leuchtmaterialien ist an folgende Bedingungen geknüpft:

1. Es muß entweder flüssig oder so leicht schmelzbar sein, daß die Wärmeausstrahlung der Flamme zur Schmelzung derselben hinreicht.

---

*) Damit eine derartige Mulde entstehen kann, muß Flammengröße und Kerzenstärke zueinander im richtigen Verhältnisse stehen. Ist die Kerze zu dünn, so rinnt die geschmolzene Masse ab, ist sie zu dick, so bleibt eine Mantelschicht der Kerze stehen. Da bein Anzünden der Kerze anfangs nur eine kleine Flamme entsteht, die auch nur wenig Wärme ausstrahlt, also nur geringe Mengen des Kerzenmateriales zu schmelzen vermag, verjüngt man das obere Kerzenende kegelförmig.

**) Eine ausführliche Besprechung dieser Verhältnisse findet sich in A. J. Stepanoff, „Grundlagen der Lampentheorie", deutsch von Dr. S. Aisinman, Stuttgart 1906, das auch sonst lesenswert ist.

2. Es darf bei der trockenen Destillation keinen kohligen Rückstand geben. Ein solcher kohliger Rückstand würde sich im Dochte ablagern und die Reinheit der Flamme beeinträchtigen. Das tritt bei schlecht gereinigten Ölen öfters ein.

Der erste, welcher eine befriedigende Erklärung für das Leuchten der Flammen fand, war Davy.*) Nach ihm wirkt teils die strahlende Wärme der Verbrennungszone, teils der durch diese hindurchdiffundierende Sauerstoff zersetzend auf die Produkte der trockenen Destillation, indem sich letzterer, dessen Menge zu einer vollständigen Verbrennung lange nicht hinreicht, hauptsächlich mit Wasserstoff verbindet, wobei sich Kohle in feinster Verteilung abscheidet. Gelangen diese Kohlenteilchen in dem äußeren Flammenmantel mit genügenden Sauerstoffmengen in Berührung, so verbrennen sie zu CO_2 und liefern hiebei so viel Wärme, daß die in der mittleren Flammenzone verteilte Kohle zur Weißglut erhitzt wird. Ähnlich wirkt aber auch Wärme allein, indem sich beispielsweise aus Äthylen bei hoher Temperatur unter Kohlenstoffabscheidung Methan bildet:

$$C_2H_4 = CH_4 + C.$$

Daß in der Flamme tatsächlich feste Kohle auftritt, ergibt sich daraus, daß sich ein fester Körper, den man in eine Leuchtflamme hält, mit Ruß belegt. Ist die Menge der zur Flamme tretenden brennbaren Gase und Dämpfe so groß, daß die von außen zutretende Luft nicht mehr zu ihrer vollständigen Verbrennung hinreicht, so raucht oder rußt die Flamme.

Dieser Erklärung des Leuchtens von Flammen gegenüber hat E. Frankland**) darauf hingewiesen, daß die Flamme des in Sauerstoff verbrennenden metallischen Arsens intensives weißes Licht gibt. Die Ursache dieser Lichtemission kann aber keinesfalls in glühenden festen Körpern gesucht werden, da metallisches Arsen bei 180° C, die entstehende arsenige Säure aber bei 218° verflüchtigt, während feste Körper erst bei etwa 500° C anfangen, rot zu glühen. Ebenso gibt in Sauerstoff verbrennender Schwefelkohlenstoff ein außerordentlich intensives Licht, obwohl die Schwefelkohlenstoffflamme keine russige Substanz enthält und der Schwefel schon bei 440° C (also gleichfalls unter der Temperatur des beginnenden Glühens) verdampft. Dasselbe gilt auch für die Verbrennung von Schwefelkohlenstoff in Stickoxydgas. Die Verbrennung des Phosphors in Sauerstoff gibt noch intensivere Lichtentwicklung als die vorigen. Da aber das hiebei entstehende Phosphorpentoxyd

*) Phil. Transact., Roy. Soc. 1819, 1, p. 75.
**) Ann. d. Chemie, Suppl. 6, p. 308.

bei Rotglut flüssig ist, die Verbrennungstemperatur des Phosphors jedoch den Schmelzpunkt des Platins weit übersteigt, kann auch hier kein glühender fester Körper die Ursache der Lichtemission sein. Die hierauf gegründete Ansicht Frankland's, daß auch in den gewöhnlichen Leuchtflammen nicht glühender fester Kohlenstoff, sondern dichte, aber durchsichtige Dämpfe von Kohlenwasserstoffen die Ursache des Leuchtens seien, ist jedoch keineswegs zutreffend, wie schon außer der früher erwähnten Beobachtung auch noch daraus hervorgeht, daß sich Ruß nicht nur an kalten, sondern auch an stark glühenden Körpern ablagert, wenn man sie in leuchtende Flammen hält. Der Ruß muß daher schon in der Flamme fertig gebildet vorhanden sein und verdankt seine Entstehung nicht erst einer Abkühlung durch die in die Flamme gebrachten kalten Gegenstände. Anderseits wird eine nichtleuchtende Flamme leuchtend, wenn in derselben durch chemische Umsetzungen ein fester Körper abgeschieden wird. So gibt die Methanflamme nur eine äußerst schwache Lichtemission; läßt man jedoch in diese Flamme Chlorgas oder Bromdampf eintreten, so wird das Methan unter Kohlenstoffabscheidung zersetzt und die Flamme leuchtend. In gleicher Weise kann man die Wasserstoffflamme, die kaum sichtbar ist, zum Leuchten bringen, wenn man das Wasserstoffgas mit Chromylchlorid sättigt, weil sich dann in der Flamme festes Chromoxyd abscheidet.

Während also die Lichtentwicklung gewöhnlicher Leuchtflammen in Übereinstimmung mit der Annahme Davy's unzweifelhaft glühendem festen Kohlenstoffe zu verdanken ist, läßt sich doch die weitere Annahme desselben, daß die Abscheidung des festen Kohlenstoffes auf unvollkommene Verbrennung der im Innern der Flamme vorhandenen Dämpfe und Gase zurückzuführen sei, indem der Wasserstoff derselben leichter verbrenne als der Kohlenstoff, nicht aufrecht erhalten. So hat schon 1861 Kersten*) gezeigt, daß ein Gemenge von elektrischem Knallgase mit Methan und Äthylen bei seiner Verbrennung bedeutende Mengen von Kohlenoxyd liefert, was nicht der Fall sein könnte, wenn der Wasserstoff leichter verbrennlich wäre als der Kohlenstoff. Dieses Ergebnis wäre ja übrigens auch nach den physikalisch-chemischen Lehren über die Affinität vorauszusehen gewesen. Somit bleibt nur übrig anzunehmen, daß die Kohlenstoffabscheidung einer thermischen Zersetzung der Kohlenwasserstoffe entstamme. Nach Smithells**) zerfallen hiebei die Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoff und Wasserstoff oder wasserstoff-

*) Journ. f. prakt. Chemie, **84**, p. 290.
**) Ber. d. D. chem. Ges. 25, p. 563 (1892).

reichen Kohlenwasserstoff, während Lewis*) annimmt, daß in der inneren Zone der Leuchtgasflammen bei etwa 1100° C neben anderen Reaktionen auch ein Zerfall von Methan in Acetylen und Wasserstoff eintrete:

$$2\,CH_4 = C_2H_2 + 3\,H_2.$$

Das Acetylen soll dann in der zweiten Zone bei 1100 bis 1300° unter Abscheidung von Kohlenstoff zerlegt werden. Der ausgeschiedene Kohlenstoff kommt dann durch die bei der Verbrennung entwickelte Wärme zum Glühen. Auf eine ausführliche Besprechung dieser ziemlich komplizierten und in ihren Details wohl kaum stichhaltigen Ansicht kann hier ebenso wenig eingegangen werden wie auf eine von W. Siemens**) gegebene Erklärung.

Wir haben bei Besprechung der Brennmaterialien und Feuerungen***) die Verbrennung von Gemengen von brennbaren Gasen mit Luft studiert. Bei den Leuchtflammen hingegen stellt sich diese Mischung erst allmählich während der Verbrennung her. Die Leuchtkraft derselben resultiert, wie wir gesehen haben, aus dem Glühen festen Kohlenstoffes, der sich infolge der hohen Flammentemperatur in der Flamme abscheidet. Wir wollen nun noch den einfachen Fall einer Flamme betrachten, die entsteht, wenn wir aus einem vertikalen Rohre ausströmendes Leuchtgas entzünden (Fig. 10).

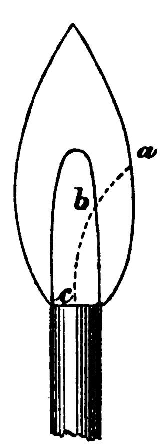


Fig. 10.

In einer solchen Flamme lassen sich mehrere Zonen unterscheiden: Während beispielsweise ein Gasteilchen in der innersten Zone von c bis b wandert, findet es keinen Sauerstoff zur Verbrennung, wird aber durch die Strahlung des äußeren brennenden Flammenmantels erwärmt. Auf seinem weiteren Wege von b nach a kommt es mit heißen Oxydationsprodukten in Berührung, welche die thermische Zersetzung des Gases hervorrufen. Gleichzeitig diffundiert aber auch von außen Luft in diese Zone, so daß hier auch Verbrennung stattfindet. In diesen beiden Zonen findet somit zunächst die Abscheidung, dann aber die Verbrennung von Kohlenstoff statt, die in a beendet ist.

Die Kohlenstoffabscheidung hängt nun von folgenden Umständen ab:

1. Von der Mischungsgeschwindigkeit mit Luft;

*) Ber. d. D. chem. Ges. und Chem. Zentralblatt, 1892, II., p. 947.
**) Ber. d. Berliner Akad. 1882, p. 961.
***) Chem. Technologie d. Energien, I, 2, p. 8 ff.

2. von der Flammentemperatur;

3. von der Natur der gasförmigen Kohlenstoffverbindungen der innersten Flammenzone;

4. vom Drucke und

5. vom Luftzutritte.

Wir wollen im folgenden diese einzelnen Umstände der Reihe nach besprechen.

1. Mischungsgeschwindigkeit mit Luft.

Die Gleichgewichtserscheinungen, welche die Kohlenstoffabscheidung bedingen, verlaufen — wie alle derartigen Erscheinungen — mehr oder weniger langsam, und es ist daher begreiflich, daß die verfügbare Zeit, die ja von der Mischungsgeschwindigkeit von Luft und Gas vorwaltend abhängt, einen großen Einfluß auf das Endergebnis der Reaktion ausüben wird.

Bei einem Drucke von 20 *mm* Wassersäule ist die Ausflußgeschwindigkeit des Gases aus dem Brennerrohre etwa 10 *m* pro Sekunde. Bei einer Flammenhöhe von 50 *mm* würde daher die Dauer des Aufenthaltes in der Flammenzone etwa $\frac{50}{10000} = \frac{1}{200}$ Sekunde betragen. In Wirklichkeit ist dieselbe jedoch bedeutend größer, weil die Ausströmungsgeschwindigkeit durch die eintretende Mischung mit Luft verringert wird. Die Zeit, welche ein Gasmolekül durchschnittlich braucht, um die Flamme zu passieren, läßt sich auf etwa $\frac{1}{50}$ Sekunde schätzen, während sie für Gasmoleküle, welche die Flamme an der Basis durchqueren, kleiner als $\frac{1}{1000}$ Sekunde sein wird. Demzufolge wird auch die Kohlenstoffabscheidung und damit das Leuchtvermögen an verschiedenen Punkten der Flamme verschieden groß sein. An der Basis ist daher die Flamme blau und wenig leuchtend, weiter oben erreicht sie das Maximum der Helligkeit und an der Spitze kann sie sogar rußend werden.

Bei zu großer Geschwindigkeit hat der Kohlenstoff nicht Zeit, sich abzuscheiden; die gasförmigen Kohlenstoffverbindungen verbrennen daher direkt zu Wasser und Kohlensäure oder vielleicht zu Kohlenoxyd. Bei noch größerer Geschwindigkeit kann es sogar vorkommen, daß unverbranntes Gas oder doch wenigstens Kohlenoxyd die Verbrennungszone passiert, ohne sich zu entzünden und so in die Luft gelangt.

Zu geringe Geschwindigkeit erlaubt die Abscheidung einer maximalen Kohlenstoffmenge, wodurch bis zu einem gewissen Grade eine Steigerung des Leuchtvermögens bewirkt wird. Ist die Geschwindigkeit jedoch allzu gering, so wird die Zeit, die bis zur Entzündung der einzelnen Kohlenstoffteilchen vergeht, zu lang. In-

folgedessen wird die Kohle durch die hiedurch wesentlich verlängerte Wärmeausstrahlung so stark abgekühlt, daß sie sich, wenn sie endlich mit Luft in Berührung kommt, nicht mehr entzündet. Die Flamme raucht dann.

2. Flammentemperatur.

Je höher die Flammentemperatur ist, desto mehr Kohlenstoff wird in der Flamme abgeschieden und desto heißer wird derselbe; desto größer wird also auch die Helligkeit. Aus diesem Grunde gibt die Verbrennung in Sauerstoff ungleich größere Helligkeit als solche in Luft.

Auf diesen Umstand muß aber auch bei der Wahl der Brenner Rücksicht genommen werden. So gibt vorherige Erwärmung der Verbrennungsluft eine beträchtliche Erhöhung der Verbrennungstemperatur und daher auch eine wesentliche Steigerung der Leuchtkraft. Nach Sainte Claire Deville verdoppelt sich die Leuchtkraft, wenn man die Luft auf 500° C vorwärmt.

Man könnte die Leuchtkraft der Flamme auch dadurch zu erhöhen trachten, daß man nicht nur die Luft, sondern auch das Gas erwärmt. In der Praxis geschieht dies jedoch nicht, weil einerseits das Gasvolum nur $\frac{1}{7}$ des Luftvolums beträgt, seine Erwärmung also nur wenig ausgibt. Anderseits aber könnten auch die metallenen Leitungsröhren durch Schwefel (der aus dem Schwefelkohlenstoff des Gases abgeschieden werden kann) oder selbst durch ausgeschiedenen Kohlenstoff verstopft werden. Dies tritt namentlich bei Bunsenbrennern leicht ein, wenn die Flamme zurückschlägt, und bewirkt dann ein Rauchen der Flamme.

3. Natur der Kohlenstoffverbindungen.

Da die Zusammensetzung der im Flammenkern auftretenden Gase dort, wo wir es nicht mit gasförmigen, sondern mit flüssigen oder festen Leuchtstoffen zu tun haben, auch von der Natur dieser letzteren abhängt, werden nicht nur erstere, sondern auch letztere auf das Leuchtvermögen der Flamme von Einfluß sein.

Betrachten wir zunächst nur die Natur der gasförmigen Kohlenstoffverbindungen des Flammenkerns, so ergibt sich, daß das Leuchtvermögen solcher Kohlenstoffverbindungen, aus welchen — wie aus Methan — nur schwer Kohlenstoff abgeschieden werden kann, sehr gering ist. Aus diesem Grunde zeigen die Flammen, welche die Verbrennung der ersten Glieder der Alkoholreihe (Methylalkohol und Äthylalkohol) liefern nur geringes Leuchtvermögen, weil bei der thermischen Zersetzung dieser Körper nur Gase ent-

stehen, die mit wenig leuchtender Flamme verbrennen. So gibt Methylalkohol:

$$CH_4O = CO + 2\,H_2,$$

Äthylalkohol aber

$$C_2H_6O = CO + CH_4 + H_2.$$

Wie schon erwähnt gibt Methan (CH_4) eine sehr schwach leuchtende Flamme. Das Leuchtvermögen wächst dann bei C_2H_4, C_2H_2, Benzol und Naphtalin, so daß Acetylen ungefähr siebenmal so viel Licht gibt als ein gleiches Volum Leuchtgas.

P. F. Frankland*) bestimmte das Leuchtvermögen verschiedener Kohlenwasserstoffe bei einem Konsum von 5 engl. Kubikfuß (141·58 *l*) pro Stunde in Normalbrennern wie folgt:

Äthan, C_2H_6	35 Kerzen
Propan, C_3H_8	54 „
Äthylen, C_2H_4	68·5 „
Benzoldampf, C_6H_6 . . .	411 „

Diese Gase enthalten im Liter:

			Gewichtsverhältnis	Atomverhältnis
Äthan	Kohlenstoff	1·076 *g*	4	1
	Wasserstoff	0·269 „	1	3
Propan	Kohlenstoff	1·613 „	4·5	1
	Wasserstoff	0·359 „	1	$2^2/_3$
Äthylen	Kohlenstoff	1·076 „	6	1
	Wasserstoff	0·179 „	1	2
Benzol	Kohlenstoff	3·227 „	12	1
	Wasserstoff	0·269 „	1	1

Die Leuchtkraft wächst somit mit steigendem Kohlenstoff- und abnehmendem Wasserstoffgehalte. Unter diesen Umständen findet auch im allgemeinen die Kohlenstoffabscheidung immer leicht statt.

Das gewöhnliche Leuchtgas verdankt $^2/_3$ seines Leuchtvermögens einem Gehalte von etwa 1 Volumprozent Benzoldampf, während das letzte Drittel desselben einem Gehalte von rund 3 Volumprozent Äthylen, etc. entspricht. Sein Leuchtvermögen läßt sich verdreifachen, wenn man ihm 1 Volumprozent Naphtalindampf beimengt.

Enthält das Gas sauerstoffhaltige Körper, wie Kohlensäure, Wasserdampf oder Luft, so sinkt das Leuchtvermögen, indem die Bildung von Kohlenoxyd begünstigt, die Abscheidung von Kohlenstoff aber beeinträchtigt wird.

Dieses Verhalten wird zum Entleuchten der Flamme im Bunsenbrenner benützt.

*) Jahresbericht d. Chemie 1884, p. 1809; 1885, p. 2167.

Hier strömt das Leuchtgas durch eine enge Öffnung in eine unten offene, weitere, vertikale Röhre, vermischt sich in derselben mit Luft und wird an dem oberen Röhrenende entzündet. Die Ursache des Entleuchtens liegt hier darin, daß der dem Gase beigemengte Sauerstoff die Verbrennung des ersteren schon im Innern der Flamme ermöglicht, so daß die Abscheidung von Kohlenstoff gar nicht zu stande kommt. Bei gleichem Gasverbrauche ist die entleuchtete Flamme kleiner und heißer als die leuchtende. Erstes, weil die Verbrennung bei der entleuchteten Flamme rascher erfolgt, letztes, weil bei der leuchtenden Flamme die Verbrennung hauptsächlich im äußeren dünnen Flammenmantel vor sich geht, und — bei der großen Oberfläche des letzteren — die Strahlungsverluste sehr bedeutend werden.*)

Es verdient erwähnt zu werden, daß die Luftmenge, welche zur Entleuchtung der Flamme im Bunsenbrenner zutritt, weit kleiner sein kann als jene, die zur vollständigen Verbrennung des Gases erforderlich wäre. Wahrscheinlich wirkt diese geringe Luftmenge in der Art, daß hiedurch die thermische Zersetzung der Gase so modifiziert wird, daß keine Abscheidung festen Kohlenstoffes erfolgen kann (möglicherweise verbrennt letzterer sofort zu Kohlenoxyd).

Ebenso wie durch Luft, kann Leuchtgas auch durch andere beigemengte Gase, wie Kohlensäure, Stickstoff, Chlorwasserstoff (Knapp) **), Wasserstoff und Kohlenoxyd (Blochmann)***) oder Wasserdampf (Sandow)†) entleuchtet werden. Während aber die durch Luft entleuchtete Flamme gegenüber der Leuchtflamme verkürzt und gedrungen erscheint, ist die durch indifferente Gase entleuchtete Flamme langgestreckt und dünn, einer im luftverdünnten Raume brennenden Flamme ähnlich. Die entleuchtende Wirkung beruht hier auf der Verdünnung der brennbaren Gase, welche den Zutritt der erforderlichen Verbrennungsluft ins Innere der Flamme begünstigt. Überdies sind die durch indifferente Gase entleuchteten Flammen weit weniger heiß als jene, bei welchen die Entleuchtung durch Luft erfolgt, da einerseits die Beimengung indifferenter Gase an und für sich abkühlend wirkt, anderseits aber die Verlängerung der Flamme eine gesteigerte Wärmeausstrahlung verursacht.

---

*) Die stärkere Lichtstrahlung bei leuchtenden Flammen ist hier kaum ausschlaggebend, da ja, wie wir früher (p. 17) gesehen haben, die dem Auge sichtbare Energiestrahlung nur einen sehr kleinen Bruchteil der Gesamtstrahlung ausmacht.

**) Journ. f. prakt. Chemie [2], 1, p. 428.

***) Annal. d. Chemie, 168, pag. 338.

†) Ber. d. D. chem. Ges., 8, p. 226.

Die zur Entleuchtung einer Bunsenflamme erforderliche Gasmenge ist natürlich je nach der Zusammensetzung des verwendeten Leuchtgases verschieden. Lewis*) und Stein**) fanden dieselben für gewöhnliches Leuchtgas wie folgt:

1 Volum Leuchtgas erfordert	Volume	
	nach Lewis	nach Stein
Sauerstoff	0·5	—
Kohlensäure	1·26	2·30
Luft	2·27	0·94
Stickstoff	2·30	1·45
Kohlenoxyd	5·11	1·60
Wasserstoff	12·4	—

Die beiden Versuchsergebnisse weichen also sehr voneinander ab. Daß dieser Unterschied aber nicht allein von der Zusammensetzung des benützten Leuchtgases abhängt, zeigt folgende Zusammenstellung, in welcher die zum Entleuchten nötige Luftmenge = 100 gesetzt wurde:

	Lewis	Stein
Luft	100	100
Stickstoff	101	154
Kohlenoxyd	55	245
Kohlensäure	225	170

Lewis hat überdies noch die Flammentemperatur verschiedener Stellen einer Bunsenflamme von 170 *l* stündlichem Gasverbrauche bei Anwendung verschiedener Entleuchtungsmittel gemessen. Er fand:

Ort der Temperaturmessung	Leuchtende Flamme	Dieselbe entleuchtet durch		
		Luft	Stickstoff	Kohlensäure
13 *mm* über dem Brenner	135°	54°	30°	35°
38 „ „ „ „	421°	175°	111°	70°
Spitze des inneren Kegels	913°	1090°	444°	393°
Mitte des äußeren Kegels	1328°	1533°	999°	770°
Spitze „ „ „	728°	1175°	1151°	951°
Seite des äußeren Kegels in gleicher Höhe mit der Spitze des inneren	1236°	1333°	1236°	970°

(Weitere Beobachtungen über die Bunsenflamme siehe später.)

*) Ber. d. D. chem. Ges., **25**, p. 563.

) Journ. f. prakt. Chemie [2], **9, p. 180; siehe auch Teclu, l. c. [2], **44**, p. 246.

Erhitzt man das Rohr eines Bunsenbrenners, dessen Flamme durch Beimischung indifferenter Gase entleuchtet wurde, stark, so leuchtet die Flamme wieder.*) Ähnliches tritt auch dann ein, wenn die Entleuchtung durch Luft bewirkt wurde. Letzteren Fall hat Blochmann**) eingehend studiert und nachgewiesen, daß das Wiederleuchtendwerden der mit Luft entleuchteten Bunsenflamme teils auf geänderten Luftzutritt,***) teils auf chemische Veränderungen innerhalb des erhitzten Gasgemisches zurückzuführen ist.

In ersterer Beziehung fand er, daß einem Bunsenbrenner, dessen Flamme durch sorgfältige Regulierung des Luftzutrittes gerade entleuchtet worden war, ein Gemenge von

Luft	61·30	Volumprozent . .	1·584	Vol.
Leuchtgas . .	38·70	„ . .	1·000	„

zuströmte, während das Gasgemenge nach dem Erhitzen der Brennerröhre zum Glühen aus

Luft	30·06	Volumprozent . .	0·430	Vol.
Leuchtgas . .	69·94	„ . .	1·000	„

bestand.

Im zweiten Falle reicht also die zutretende Luftmenge zur Entleuchtung der Flamme nicht mehr hin.

Gleichzeitig treten auch in der Zusammensetzung des Gases beim Passieren des glühenden Brennerrohres durchgreifende Veränderungen auf. So bestand das Leuchtgas-Luftgemenge, das Blochmann der nichtleuchtenden Bunsenflamme zuführte, aus:

		Volumprozent	
38·70 Volumprozent Leuchtgas	Wasserstoff, H_2	20·41	
	Methan, CH_4	13·65	
	Äthylen, C_2H_4	0·74	
	Propylen, C_3H_6	0·29	
	Benzol, C_6H_6	0·25	
	Kohlenoxyd, CO	1·55	
	Kohlensäure, CO_2	0·54	
	Stickstoff, N_2	1·23	49·68
61·30 Volumprozent Luft	Stickstoff, N_2	48·45	
	Sauerstoff, O_2	12·85	

*) Wibel: Ber. d. D. chem. Ges. 1875, 8, p. 226.

**) Annal. d. Chemie, 181, p. 129; 182, p. 1; 183, p. 102; 184, p. 206.

***) Dies hatte schon Heumann (Annal. d. Chemie, 181, p. 135) vermutet.

während dasselbe Gasgemisch nach Passieren eines glühenden Platinrohres enthielt:

	Volumprozent
Wasserstoff, H_2	0·57
Methan, CH_4	12·54
Äthylen, C_2H_4	0·30
Propylen, C_3H_6	0·31
Benzol, C_6H_6	0·19
Kohlenoxyd, CO	3·12
Kohlensäure, CO_2	1·37
Stickstoff, N_2	49·68
Wasserdampf, H_2O	22·47
Kontraktion	9·45

Der freie Sauerstoff war also vollständig verschwunden.

Die Entleuchtung durch indifferente Gase hingegen beruht, wie wir gesehen haben, teils auf der Verdünnung der brennbaren Gase, teils aber auf der Abkühlung der Flamme durch die beigemengten indifferenten Gase. Letztere Wirkung kann nun durch das Erhitzen des Brennerrohres wieder aufgehoben und so die Flamme wieder leuchtend werden (Heumann).*)

Während ein hinreichender Zusatz der oben angeführten Gase die Flamme gänzlich entleuchtet, verringert eine kleine Menge solcher, namentlich sauerstoffhaltiger Gase (Kohlensäure, Wasserdampf oder Luft) nur das Leuchtvermögen:

1 Volumprozent Kohlensäure verringert das Leuchtvermögen um 3%
5 „ Luft verringern das Leuchtvermögen um . . 25% (?)

Kleine Sauerstoffbeimengungen wirken jedoch nicht schädlich, weil hiedurch die Flammentemperatur erhöht wird.

Wie schon erwähnt, ist auch bei Anwendung fester oder flüssiger Leuchtstoffe die Zusammensetzung derselben von bedeutendem Einflusse auf die Leuchtkraft der Flamme. Wenn auch dieser Einfluß noch wenig studiert ist, so läßt sich doch sagen, daß die Kohlenwasserstoffe im allgemeinen ein größeres Leuchtvermögen besitzen als sauerstoffhaltige Stoffe, und daß bei letzteren das Leuchtvermögen mit zunehmendem Sauerstoffgehalte kleiner wird. So hat das sauerstofffreie Paraffin ein höheres Leuchtvermögen als die sauerstoffarme Stearinsäure, während der sauerstoffreiche Alkohol mit fast nichtleuchtender Flamme verbrennt.

*) Annal. d. Chemie, 181, p. 152.

4. Druck.

Die ersten klassischen Versuche über den Einfluß des Druckes auf die Leuchtkraft von Flammen wurden 1859 von E. Frankland und Tyndall anläßlich einer Montblanc-Besteigung ausgeführt.*) Fünf Stearinkerzen, von denen in Chamonnix durchschnittlich pro Stunde 9·4 *g* Stearin verbrannten, zeigten am Gipfel des Montblanc, an einer vor Luftzug geschützten Stelle entzündet, eine stündliche Gewichtsabnahme von durchschnittlich 9·2 *g*. Während aber die verbrannte Stearinmenge in beiden Fällen ziemlich die gleiche war, vergrößerte sich am Montblanc die unterste, der Kerze zugewendete blaue Zone der Flamme bedeutend, während die leuchtende Zone und damit die Leuchtkraft der Flammen sich wesentlich verkleinerten.

Im Anschlusse an diese Beobachtung maß Frankland später die Leuchtkraft von Gasflammen, die in Behältern mit verdünnter Luft brannten. Er erhielt so folgende Werte, wobei die Leuchtkraft des Gases bei Atmosphärendruck = 100 gesetzt wurde:

Luftdruck	Leuchtkraft:
756 *mm*	100
629 „	75
502 „	52·9
368 „	20·2
267 „	5·4
165 „	0·9
765 „	100
740 „	95
714 „	89·7
689 „	84·4

Hieraus ergibt sich, daß bei einem Drucke von 756 *mm* bis 355 *mm* herab eine Verminderung des Luftdruckes um 25 *mm* ziemlich genau einer Verringung der Leuchtkraft um 5% entspricht. Bei niederen Drucken wird diese Verringung der Leuchtkraft kleiner.

Anderseits ergaben Versuche, bei welchen Amylalkohol, bezw. ein Gemenge von 1 Teil Amylalkohol und 5 Teilen Äthylalkohol bei höheren Drucken verbrannt wurden, eine bedeutende Steigerung der Leuchtkraft mit wachsendem Drucke:

Luftdruck:	Leuchtkraft:
1 at.	100
2 „	263·7
3 „	406
4 „	959

*) Proc. Roy. Soc., 11, p. 137.

Frankland führt*) dieses Verhalten wohl mit Recht darauf zurück, daß gesteigerter Druck die Abscheidung von Kohlenstoff begünstigt. Dies steht nicht nur in voller Übereinstimmung mit den Gleichgewichts-Verschiebungsgesetzen,**) sondern auch mit bekannten Erfahrungen. So qualmen gewöhnliche Kerzen unter einem Drucke von 2 at., während die Alkoholflamme, die unter gewöhnlichem Drucke kaum leuchtet, bei 4 at stark leuchtend wird. Umgekehrt brennen Flammen, die unter gewöhnlichem Drucke qualmen, in verdünnter Luft ohne Rauch.

Frankland kommt zu folgenden Schlüssen:

1. Die Verbrennungsgeschwindigkeit von Kerzen und ähnlichen Leuchtmaterialien wird durch den Druck der angewendeten Verbrennungsluft nur wenig beeinflußt.

2. Die Leuchtkraft gewönlicher Flammen hängt vom Drucke der angewendeten Verbrennungsluft ab, und zwar ist innerhalb gewisser Grenzen die Abnahme der Leuchtkraft der Druckabnahme proportional.

3. Die Veränderungen des Leuchtvermögens von Flammen durch geänderten Luftdruck hängen vorwaltend von dem hiedurch erleichterten, bezw. erschwerten Zutritte des Luftsauerstoffes zum Innern des Flammenkegels ab.

4. Bis zu einer gewissen unteren Grenze wird die Verbrennung um so vollständiger, je geringer der Atmosphärendruck ist, unter welchem die Flamme brennt.

Die Versuche von Cailletet***) ergaben bei einem Drucke von 30 bis 35 at. bei Kerzen, Schwefel, Kalium und Schwefelkohlenstoff eine Steigerung der Lichtintensität, bei Phosphor hingegen nicht. Hiebei wurde auch — wie Versuche mit phosphoreszierenden Stoffen zeigten — die Intensität der chemisch wirksamen Strahlen gesteigert. Ähliches fand auch Wartha.†)

Nach Bremont††) endlich beträgt die Abnahme der Leuchtkraft für je 50 *m* Erhebung eine Einheit, so daß dasselbe Leuchtgas, an verschiedenen Orten verbrannt, folgende Leuchtkraft haben würde:

---

*) Proc. Roy. Soc., 11, p. 371.

**) Jüptner, Lehrb. der phys. Chemie, II., 1, p. 19.

***) Jahresber. der Chemie 1875, p. 15.

†) Journ. f. prakt. Chemie [2], 14, p. 84.

††) Jahresber. d. chem. Technol. 1881, p. 1040.

Ort	Höhe in *m*	Luftdruck *mm*	Leuchtkraft
Paris	0	0·754	105
Wien	68	0·747	103
Moskau . .	235	0·732	99
Madrid . . .	573	0·705	87
Mexiko . . .	2212	0·572	30

Daß endlich auch die Menge des in der Zeiteinheit verbrannten Leuchtstoffes auf die resultierende Lichtstärke von bedeutendem Einflusse sein muß, ist wohl selbstverständlich. Hierauf ist — wie später erörtert werden soll — natürlich bei der Photometrie Rücksicht zu nehmen.

5. Luftzutritt.

Wie bereits oben auseinandergesetzt, hängt die Leuchtkraft einer Flamme einerseits von der Menge des in derselben ausgeschiedenen Kohlenstoffes, anderseits aber von der Temperatur ab, bis zu welcher dieser in der Flamme erhitzt wird. Dementsprechend wird die Leuchtkraft einer Flamme offenbar auch von der Luftmenge abhängen müssen, welche zu derselben tritt. Eine Kerze mit zu starkem Dochte saugt von dem geschmolzenen Leuchtstoffe mehr auf, als die Flamme zu konsumieren vermag. Derselbe wird zwar im Dochte vergast, aber der Luftzutritt zur Flamme reicht nicht hin, um eine vollständige Verbrennung zu bewirken; es entweichen daher unverbrannte Zersetzungsprodukte und die Flamme brennt somit qualmend und unter geringer Lichtentwicklung. Bei Öl- und Petroleumlampen erhöht man den Luftzutritt durch Anwendung von Zylindern, sowie durch Zufuhr von Luft ins Innere der Flamme, oder dadurch, daß man der Flamme durch Anwendung von Flachdochten oder von vielen einzelnen dünnen Runddochten eine möglichst große Oberfläche gibt.

Aber auch hier ist eine gewisse Grenze einzuhalten. Während im allgemeinen die Leuchtkraft steigt, wenn man der Flamme statt atmosphärischer Luft reinen Sauerstoff zuführt, kann auch eine Verringung der Lichtintensität, ja eine vollständige Entleuchtung der Flamme eintreten, wenn der Sauerstoff zu rasch ins Innere der Flamme eintritt. *)

*) Siehe p. 44—48.

II. Kapitel.

Gasbrenner.

Jene Vorrichtungen, in welchen gasförmige Leuchtstoffe zur Verbrennung gelangen, nennt man Gasbrenner.

Je nachdem, ob man hiebei unmittelbar eine leuchtende oder eine heiße, nichtleuchtende Flamme erzeugen will, kann man dieselben wie folgt einteilen.

A. Brenner, die unmittelbar Leuchtflammen geben:

1. Die Verbrennung erfolgt mit Luft von gewöhnlicher Temperatur . . . . . . einfache Brenner

2. Die zutretende Verbrennungsluft wird mittels des Brenners vorgewärmt . Regenerativbrenner

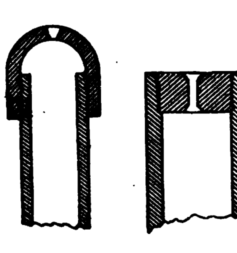
B. Brenner, die eine nichtleuchtende Flamme geben:

1. Die Brenner dienen nur zu Heizzwecken.

Hieher gehören die verschiedenen Abarten der Bunsenbrenner.

2. Die nichtleuchtende Flamme dient zur Erhitzung hineingebrachter fester Körper und bezweckt durch deren Glühen Licht zu entwickeln . Glühlampen

A. Brenner, die unmittelbar Leuchtflammen geben.


Fig. 11. Fig. 12.

1. Einfache Brenner.

Es waren dies die zuerst angewendeten Gasbrenner. Je nach der Form der Ausströmungsöffnung für das Gas unterscheidet man folgende Arten:

a) Der Einlochbrenner (auch Kerzen-, Bougie-, Jet- oder Strahlbrenner genannt) ist der einfachste von allen. Er besteht aus einem vertikalen Gaszuleitungsrohre, das oben bis auf eine runde Austrittsöffnung geschlossen ist. Dieser Verschluß wird entweder durch eine aufgeschraubte Kappe (Fig. 11) oder durch einen eingeschraubten Specksteinstöpsel (Fig. 12) hergestellt.

Die Höhe der Flamme hängt bei diesem Brenner vom Gasverbrauche (und dem Gasdrucke) ab und ist vom Durchmesser der Brenneröffnung ziemlich unabhängig, weil sich damit gleichzeitig auch der Druck entsprechend ändert. Sie werden in Gasanstalten dazu benützt, um das erzeugte Gas zu beurteilen. Um den zu diesem Zwecke erforderlichen gleichen Gasdruck zu erzielen, dienen Druckregulatoren (Druckregler), die (Fig. 13) gewöhnlich aus kleinen schwimmenden Gasglocken bestehen, die nach Belieben mit Gewichten P belastet werden können und bei ihrem Aufsteigen infolge wachsenden Gasdruckes die Zuströmungsöffnung des Gases automatisch verengen. Außerdem gibt es auch trockene Druckregler, welche statt der schwimmenden Glocke eine blasbalgähnliche Einrichtung besitzen.

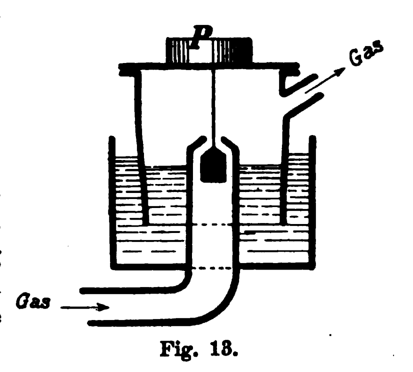


Fig. 13.

Am günstigsten hat sich, wie aus nachstehenden Daten hervorgeht, bei diesen Brennern 2 *mm* Druck und 2 *mm* Brenneröffnung erwiesen. Sie brauchen dann pro Kerzenstärke und Stunde 160 *l* Gas.

Höhe der Flamme	Gasverbrauch pro 1h in Liter	Brenneröffnung in *mm*	Druck	Leuchtkraft c*)
100 *mm*	37	1	11 *mm*	0·14
100 „	36	1·5	6 „	0·17
100 „	34	2	2 „	0·21
100 „	28	2·5	1 „	{rußende Flamme 0·18

*) Carcel, siehe später.

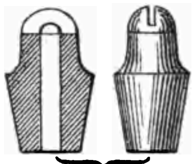



Fig. 14.

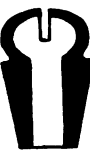


Fig. 15.

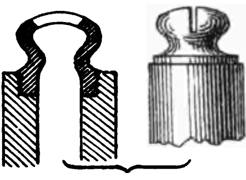


Fig. 16.

b) Der **Schnittbrenner** (**Schmetterlings-** oder **Fledermausbrenner, bec papillion, batswing-burner**) hat einen langen, aber schmalen Schlitz, aus welchem das Gas ausströmt, so daß eine fächerförmig ausgebreitete Flamme mit großer Oberfläche entsteht. Der Brenner wird aus Metall oder besser aus Speckstein nach drei Grundtypen hergestellt (Fig. 14—16).

Durch Veränderung der Flammenbreite kann die Verbrennung reguliert werden. Bei gleichem Gasverbrauche wächst die Leuchtkraft mit der Flammenbreite, d. i. mit der strahlenden Flammenfläche.

Bei bewegter Luft geben sie flackernde Flammen und rußen leicht, weshalb derartige Flammen für die Straßenbeleuchtung (wegen des Windes) schmal gemacht werden müssen.

Gewöhnlich ist an diesen Brennern ersichtlich gemacht, für welchen stündlichen Gasverbrauch sie bestimmt sind, indem am Fußende des Brennerstückes rundum laufende Hohlkehlen und strichförmige Rinnen eingedreht sind. Eine Hohlkehle bedeutet 4 englische Kubikfuß (120 *l*), ein Ring 1 Kubikfuß (30 *l*), ein weiter abstehender Ring $^1/_2$ Kubikfuß (15 *l*). Der in Fig. 17 dargestellte Brenner hat somit einen stündlichen Gasverbrauch von $5^1/_2$ Kubikfuß (= 165 *l*). Diese Angaben beziehen sich bei den Brennern mit massivem Kopfe auf einen Gasdruck von 1 Zoll engl. (= 25 *mm*), bei den Hohlkopfbrennern aber von $^1/_2$ Zoll (= 13 *mm*). Da diese Gasdrucke viel zu hoch sind, muß man jedoch in praxi für einen bestimmten Gaskonsum stets höhere Brennernummern wählen.

Fig. 17.

Die **Zwillingsbrenner** besitzen zwei so nebeneinander gestellte Schlitzbrenner, daß ihre Flammen unter 25° bis 45° gegeneinander geneigt sind und sich zu einer einzigen Schmetterlingsflamme vereinigen.

Über den Gasverbrauch und die Leuchtkraft der gewöhnlichen Schmetterlingsbrenner geben folgende Zahlen Aufschluß:

α) 100 Liter-Brenner.

Schlitzbreite	Druck	Leuchtkraft
0·1 *mm*	33·5 *mm*	0·15 c.
0·3 „	15·5 „	0·30 „

Schlitzbreite	Druck	Leuchtkraft
0·5 *mm*	3·5 *mm*	0·63 c.
0·7 „	2·1 „	0·68 „
0·9 „	1·1 „	0·64 „

β) 200 Liter-Brenner.

Schlitzbreite	Druck	Leuchtkraft
0·3 *mm*	21·3 *mm*	0·97 c.
0·5 „	5·6 „	1·70 „
0·7 „	3·3 „	2·11 „
0·9 „	2·3 „	2·00 „

Der Nutzeffekt ist somit bei größeren Brennern bedeutender als bei kleinen.

Rüdorff erhielt mit Hohlkopf-Schnittbrennern folgende Ergebnisse:

Stündlicher Gasverbrauch in Liter	Nr. 3		Nr. 6		Nr. 9		Nr. 8	
	Schnittbreite *mm*							
	0·25		0·3		0·4		—	
	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze
25	1·1	22·7	1·1	22·7	1·2	20·8	—	—
30	1·6	18·8	1·6	18·8	1·8	16·6	—	—
40	2·5	16·0	2·7	14·8	2·8	14·3	—	—
50	3·3	15·1	3·7	13·5	3·8	13·1	—	—
60	4·0	15·0	4·5	13·3	4·9	12·3	—	—
70	4·7	14·9	5 6	12·7	6·0	11·6	—	—
80	—	—	6·5	12·3	7·1	11·2	7·2	11·1
90	—	—	7·6	11·8	8·3	10·8	8·1	11·1
100	—	—	8·5	11·7	9·5	10·5	9·1	10·9
120	—	—	10·4	11·5	11·7	10·3	11·1	10·8
140	—	—	13·0	10·8	14·0	10·0	13·1	10·6
160	—	—	—	—	16·4	9·7	15·0	10·6
190	—	—	—	—	20·0	9·5	17·8	10·7
200	—	—	—	—	—	—	18·2	10·9
220	—	—	—	—	—	—	20·2	10·9
250	—	—	—	—	—	—	22·7	11·0
260	—	—	—	—	—	—	23·2	11·2
270	—	—	—	—	—	—	23·6	11·4

Brenner Nr. 3 bis 9 waren zur Verminderung des Gasdruckes mit einen konvex gewölbten Messingeinsatz mit Schlitz versehen, der bei Nr. 8 (Straßenbrenner) fehlte. Letzterer zeigte bei 150 *l* stündlichem Gasverbrauche die größte Leistungsfähigkeit.

Für die Straßenbeleuchtung verwendet man gewöhnlich Brenner mit 0·6 *mm* Schnittbreite und 140 *l* stündlichem Gasverbrauche, die also pro Kerzenstärke 127 *l* Gas benötigen; doch finden manchmal auch solche mit 233 Literstunde Gasverbrauch Anwendung, bei denen auf eine Kerzenstärke 105 *l* Gas kommen.

Bei kohlenstoffreichen Gasen müssen die Schlitze enger gehalten werden. Mit den gewöhnlichen Brennern würde Ölgas (Zugsbeleuchtung auf Eisenbahnen) und Acetylen rauchende, wenig leuchtende Flammen geben.

c) Zweilochbrenner (Fischschwanz- oder Manchesterbrenner, bec Manchester). Das Gas strömt durch zwei in einer Vertikalebene gelegene, senkrecht gegeneinander ge-

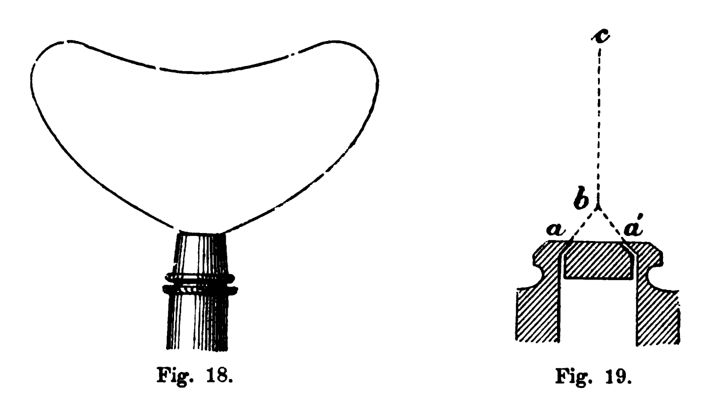


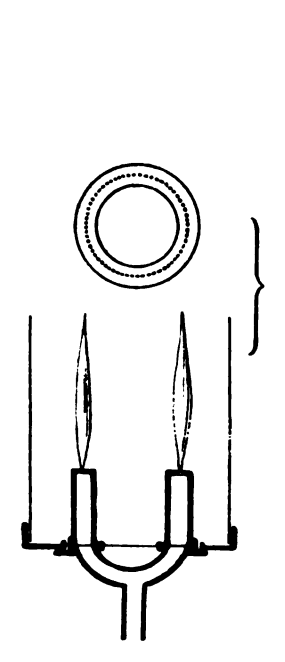
Fig. 18. Fig. 19.

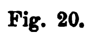
stellte Bohrungen aus (Fig. 18, 19). Die beiden Gasströme treffen in der Mitte aufeinander und breiten sich daher senkrecht zu der Ebene, in welcher die Bohrungen liegen, aus, wodurch die fischschwanzähnliche Form der Flamme entsteht. Sie bieten den Vorteil, daß sie sich weniger leicht verstopfen, weshalb sie gern für kohlenstoffreiche Gase benützt werden (Ölgas). Bei zu großem Drucke sausen jedoch solche Flammen.

Um die Geschwindigkeit des Gases zu verringern und so die Leuchtkraft der Flammen zu erhöhen, kann man unter der Brenneröffnung Siebe einsetzen. An zugigen Orten bringt man unter den Flammen Glasschalen oder Glasglocken an.

Rüdorff erhielt bei den sogenannten Bray'schen Zweilochbrennern, die aus einer Messinghülse mit Deckplatte aus Porzellan bestehen und zur Verminderung des Ausströmungsdruckes ein feines Drahtnetz enthalten, folgende Resultate:

Stündlicher Gasverbrauch in Liter	Nr. 3		Nr. 4		Nr. 5		Nr. 6		Nr. 9	
	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze
50	1·5	33·3	2·3	21·7	2·4	20·8	3·2	15·6	3·7	13·5
60	1·6	37	2·7	22·2	2·8	21·4	3·8	15·8	4·7	12·8
80	1·8	44	3·5	23	3·7	21·6	5·3	15·1	6·9	11·7
100	2·0	50	3·7	27	4·3	23·2	6·4	15·6	9·1	10·9
120	2·0	60	3·9	31	4·7	25·5	7·3	16·4	10·9	11·0
140	1·8	80	4·0	35	5·0	28	8·1	17·3	12·8	10·9
150	—	—	4·1	36	5·0	30	8·5	17·7	13·7	10·9
180	—	—	4·1	44	5·1	35	9·5	19·0	16·6	10·8
200	—	—	—	—	5·1	40	—	—	18·2	10·9
220	—	—	—	—	5·1	43	—	—	19·4	11·6
240	—	—	—	—	—	—	—	—	20·2	11·8
250	—	—	—	—	—	—	—	—	20·7	12·1
260	—	—	—	—	—	—	—	—	21·1	12·3




Fig. 20.

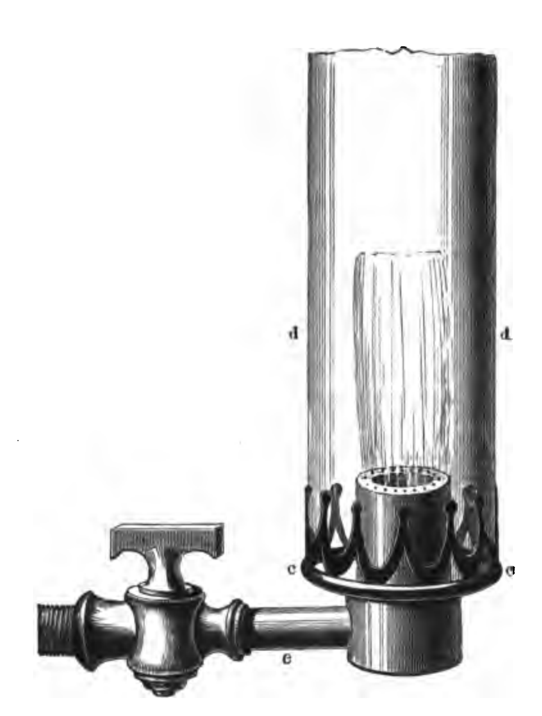


Fig. 21 (nach Muspratt).

d) Rund- oder Argandbrenner. Diese, schon im Jahre 1789 von Aimé Argand für Öllampen angegebenen Brenner geben zylindrische Flammen, denen sowohl von außen als auch von innen Luft zuströmt. Sie bieten neben guter Luftzuführung den Vorteil, nach allen Seiten gleich viel Licht auszustrahlen, was bei den Schnitt- und Zweilochbrennern nicht der Fall ist.

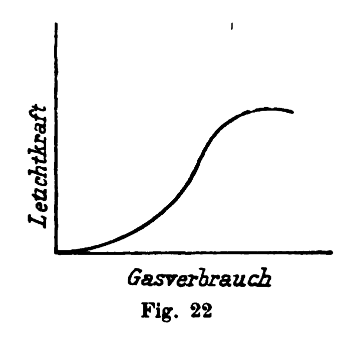


Fig. 22

Bei den für Gasbeleuchtung bestimmten Argandbrennern strömt das Gas aus feinen, in einer ringförmigen Porzellankrone kreisförmig angeordneten Öffnungen aus (Fig. 20). Sie bedürfen, um genügenden Zug herzustellen, eines Glaszylinders (Fig. 21).

Weil der Luftzutritt nach Bedarf genau geregelt werden kann, ist der Nutzeffekt dieser Brenner ein großer. Die größte Leuchtkraft erziehlt man bei dem Verhältnisse $\frac{\text{Außenluft}}{\text{Innenluft}} = \frac{4{\cdot}5}{1}$. Ihre Leuchtkraft steigt anfangs mit dem Gasverbrauche, um dann wieder abzunehmen (Fig. 22).

Weitere Angaben über diese Brenner enthalten die folgende Beobachtungen Rüdorff's.*)

Argandbrenner	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Gesamthöhe des Brenners .	72	73	59	55	51	52	58	60	70	72
Höhe des Porzellan- oder Specksteinkörpers über der äußeren Messingfassung .	34	28	23·5	20	2	2	21	22	18	16
Äußerer Durchmesser dieses Körpers	23	21	24	24	25	25	24	26	24	21
Innerer Durchmesser desselben	12	10·5	13·5	12·5	17	17	12·5	14·5	16	13·5
Durchmesser des Lochkreises	17·5	15·5	19·0	18·5	22	22	19	21·5	21	18
Durchmesser der Löcher .	0·7	0·6	0·7	0·7	1·0	0·9	0·7	0·8	1·3	1·3
Anzahl der Löcher . . .	32	24	32	32	36	36	32	40	30	24

*) Journ. für Gasbeleuchtung 1882, p. 137.

Stündlicher Gas-verbrauch in Litern	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X	
	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze	Kerzen	Liter pro Kerze
50	1·8	27·7	0·4	125	0·9	55·5	—	—	—	—	—	—	2·1	24	—	—	—	—	—	—
60	2·6	21·5	1·4	43	1·8	33·3	1·6	37·5	1·5	40	1·5	40	3·1	18·2	1·5	40	—	—	—	—
70	4·7	14·9	2·6	26	3·4	20·6	2·7	25·9	2·3	30	2·6	27	4·7	15·0	2·4	29	—	—	0·9	77
80	6·1	13·1	3·9	21	4·8	16·6	3·8	21·0	3·2	25	3·8	21	6·3	12·7	3·7	21·6	1·0	80	2·5	32
90	7·5	12·0	5·1	17	6·3	14·3	5·5	16·4	4·2	21	5·0	18	8·0	11·2	5·3	17·0	2·1	43	4·1	22
100	9·0	11·1	6·5	15	7·9	12·6	7·5	13·3	5·5	18	6·2	16	9·8	10·2	7·1	14·1	3·3	30·3	5·7	17·5
110	10·9	10·1	7·9	14	9·5	11·5	9·5	11·6	6·9	16	7·4	14·8	11·6	9·0	8·9	12·3	4·9	22·5	7·7	14·3
120	12·8	9·4	9·6	12·5	11·0	10·9	11·6	10·4	8·3	14·4	8·6	13·9	13·3	9·5	10·7	11·2	6·7	17·9	9·5	12·6
130	14·4	9·0	11·3	11·5	12·7	10·2	13·3	9·9	9·8	13·3	10·2	12·7	15·0	8·7	12·4	10·5	8·8	14·7	11·6	11·2
140	15·9	8·8	13·4	10·5	14·4	9·7	15·1	9·2	11·6	12·0	11·8	11·8	16·6	8·4	14·0	10·0	11·1	12·6	13·7	10·2
150	17·7	8·4	15·8	9·5	16·1	9·3	16·8	8·9	13·2	11·4	13·2	11·4	18·1	8·2	15·7	9·5	13·4	10·9	15·8	9·5
160	19·6	8·1	18·2	8·8	17·8	8·9	18·5	8·6	14·8	10·8	14·8	10·8	19·6	8·1	17·3	9·2	15·5	10·3	17·9	8·9
170	21·3	8·0	—	—	19·5	8·7	20·2	8·4	16·7	10·2	16·4	10·0	—	—	18·9	9·0	17·5	9·7	20·0	8·5
180	—	—	—	—	21·1	8·5	21·4	8·4	18·5	9·7	18·8	10·5	—	—	20·5	8·8	19·5	9·2	22·1	8·1
190	—	—	—	—	22·5	8·4	—	—	20·4	9·3	19·7	9·6	—	—	—	—	21·7	8·7	24·0	7·9
200	—	—	—	—	23·7	8·4	—	—	22·1	9·0	21·4	9·2	—	—	—	—	23·4	8·5	25·1	7·9
210	—	—	—	—	25·1	8·3	—	—	23·4	8·9	23·3	9·0	—	—	—	—	24·7	8·5	—	—
220	—	—	—	—	—	—	—	—	24·7	8·8	24·6	8·9	—	—	—	—	26·4	8·3	—	—
230	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25·4	8·9	—	—	—	—	27·8	8·2	—	—

Die meiste Verbreitung haben folgende Arten von Argandbrennern:

Art der Brenner	1 Carcel erfordert stündl. Liter Gas	Stündl. Gasverbrauch pro Brenner	Ort der Verwendung
Beagelbrenner	105	105	Frankreich
Sugybrenner	90	140	London
Elstenbrenner	85	150	Berlin

e) Albocarbonbrenner.

Um die Leuchtkraft der Brenner zu erhöhen, kann man den Kohlenstoffgehalt des Gases dadurch vergrößern, daß man dem Gase Dämpfe kohlenstoffreicher Verbindungen zuführt. Dieser Vorgang, den man Karburieren des Leuchtgases nennt, wird später ausführlicher besprochen werden. Zu diesem Zwecke wurde schon 1862 von Bowditch festes Naphtalin vorgeschlagen und fand in eigens gestalteten Brennern, den Albo-Carbonlampen, ziemlich ausgedehnte Verwendung. Ihr Prinzip ist aus Fig. 23 zu erkennen. Das Gas durchströmt ein Kupfergefäß mit Naphtalin, das durch einen kleinen Arm E, der ober dem Brenner angeordnet ist, erwärmt wird, wodurch das Naphtalin verdampft. Eine an diesem Arme angebrachte, drehbare und durchlochte Scheibe gestattet, diese Erwärmung nach Bedarf zu regulieren.

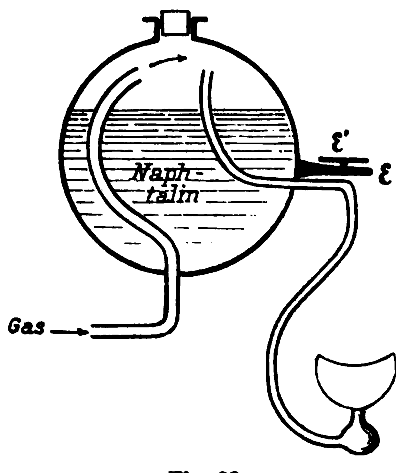


Fig. 23.

Diese Lampen haben den Übelstand, daß das Gas in Brennern mit sehr engen Schlitzen, also unter großem Drucke, verbrannt wird. Infolgedessen kann unvollständige Verbrennung eintreten, so daß Naphtalindämpfe in die Luft gelangen.

Bei einem Verbrauche von 105 *l* Gas und 7 *g* Naphtalin pro Stunde erhält man eine Flamme vor 3·5 Carcel Leuchtkraft. Pro Carcel braucht man somit 30·93 *l* Gas und 2 *g* Naphtalin in einer Stunde.

2. Regenerativbrenner.

Ebenso, wie durch Anwendung von Regeneratoren die Verbrennungstemperatur von Feuerungen erhöht wird (Technologie

der Energien I, 2. p. 60 ff.), muß ein Vorwärmen der Verbrennungsluft durch die heißen Gase eines Gasbrenners die Flammentemperatur desselben gleichfalls erhöhen. Dadurch wird aber, wie wir gesehen haben, eine bedeutende Steigerung der Lichtemission bewirkt.

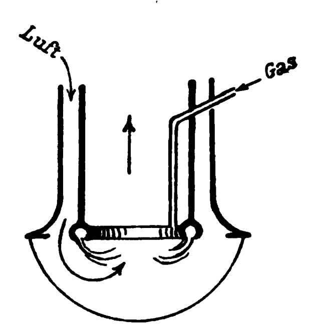
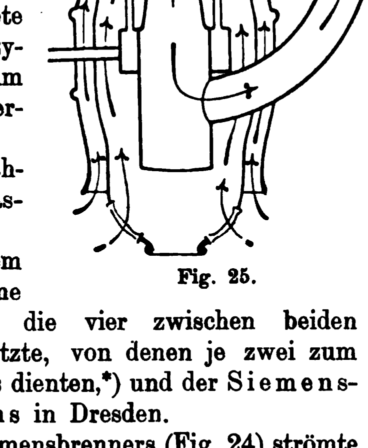


Fig. 24.


Fig. 25.

Faraday hat schon 1819 die ersten Versuche gemacht, diesen Gedanken zu verwirklichen, kam jedoch zu keinen praktisch brauchbaren Ergebnissen. Die erste, wenn auch noch unvollkommene, aber doch schon verwendbare derartige Lampe konstruierte 1836 Chaussenot. Er verwendete Argandbrenner mit doppelten Glaszylindern, zwischen welchen die Luft zum Brenner strömt und sich hiebei erwärmt.

Im Jahre 1879 tauchten gleichzeitig zwei Konstruktionen von Gasbrennern mit Luftvorwärmung auf:

Der Muchallbrenner, bei dem unter der eigentlichen Leuchtflamme eine Heizflamme angeordnet war, die vier zwischen beiden Flammen angebrachte Kammern erhitzte, von denen je zwei zum Vorwärmen der Luft bezw. des Gases dienten,*) und der Siemensbrenner von Friedrich Siemens in Dresden.

Bei dieser ältesten Type des Siemensbrenners (Fig. 24) strömte das Gas durch ein Rohr von oben in den Brenner, während die heißen Verbrennungsprodukte durch eine zentrale Esse entwichen und so das

*) Ein anderer von Muchall konstruierter Brenner war dem von Chaussenot sehr ähnlich.



Fig. 26

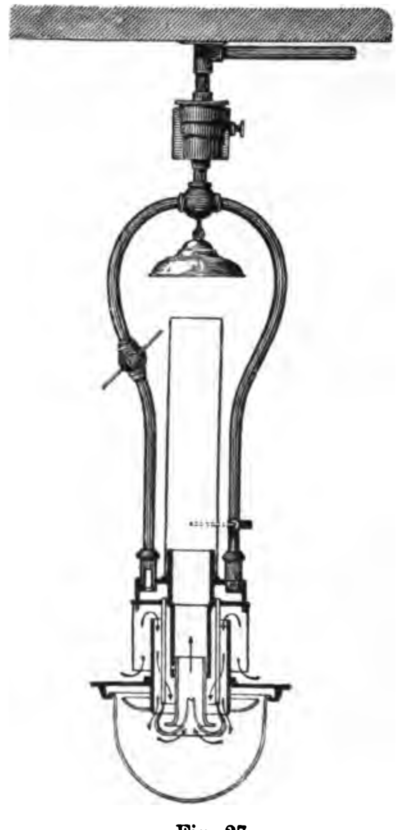


Fig. 27.

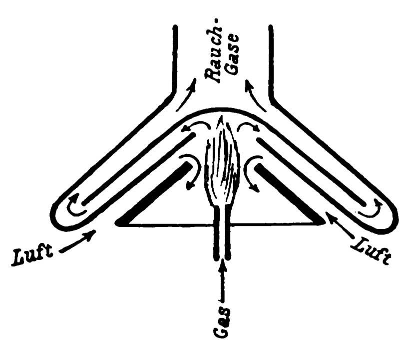


Fig. 28.

Gas sowie die Luft, die durch ein weites, die Esse umgebendes Rohr in der Richtung von oben nach unten einströmte, vorwärmte. Dieser Brenner hatte den Übelstand, daß sich seine Öffnungen leicht durch ausgeschiedenen Schwefel (aus CS_2) etc. verstopften und daß die Entzündung des Gases, wegen der Entstehung leicht explosibler Gasmischungen, ziemlich heikel war. Er schritt daher zur Konstruktion anderer Typen, deren wichtigste in den Fig. 25 bis 28 dargestellt und aus denselben ohne weiteres verständlich sind.

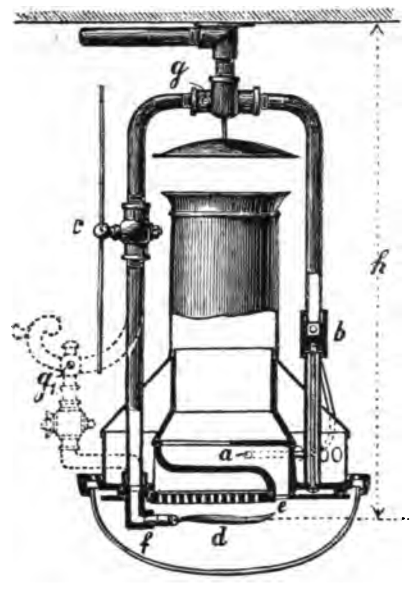


Fig. 29.

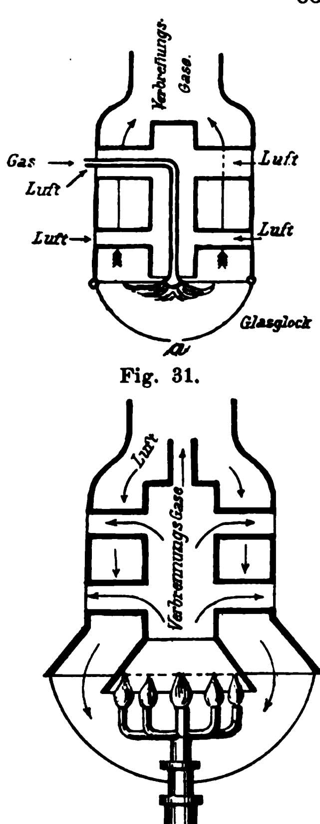


Fig. 31.

Fig. 32.

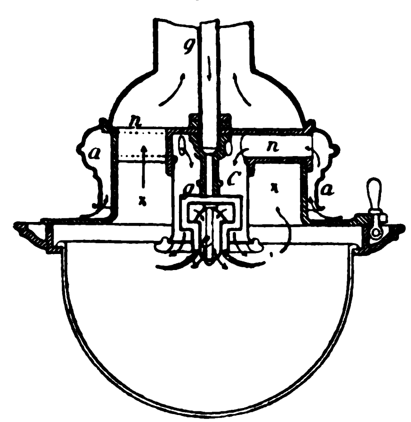


Fig. 30.

Fig. 29 endlich zeigt den horizontalen Regenerativ-Flachbrenner von Siemens, bei dem das Gas dem Schnittbrenner f entströmt und eine horizontale Flamme d bildet. Die heißen Gase entweichen durch den halbkreisförmigen Schlitz e in die Esse. Die Verbrennungsluft strömt durch auf der rechten Seite angeordnete Löcher in eine Kammer, welche die Esse ringförmig umgibt, wird hier vorgewärmt und tritt durch eine horizontal ober der Flamme liegende und von dieser erhitzte, durchlochte und emaillierte Platte zum Brenner.

Beim Wenhambrenner (Fig. 30 und 31) brennt die Flamme von oben nach unten. Die Luft strömt im gleichen Sinne

durch ein zentral um das Gaszuführungsrohr angelegtes weiteres Rohr zu und wird durch die außerhalb desselben nach aufwärts ziehenden heißen Verbrennungsgase vorgewärmt. a in Fig. 31 stellt eine

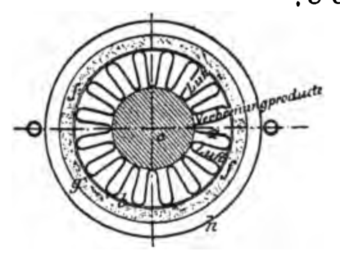


Fig. 34.

in der Glasglocke angebrachte verschließbare Öffnung dar, die zum Entzünden des Brenners dient.

Ganz ähnlich ist der Pariser oder Industrie-Brenner (Fig. 32) gestaltet. Das Gas tritt hier jedoch von unten ein und die Flammen (eine größere in der Mitte, sechs im Kreise herum gestellt) brennen nach aufwärts. Die Verbrennungsgase entweichen durch eine zentrale Esse und von dieser ausgehende horizontale Röhren und erwärmen die von oben einströmende Luft. Der mittlere Brenner brennt mit kleiner Flamme (Kleinsteller) auch dann, wenn der übrige Brenner außer Dienst ist, wodurch das Anzünden sehr erleichtert wird. Der Rekuperationsapparat ist aus Nickel hergestellt, das der Oxydation gut widersteht; die Verbrennungsgase treten mit 700° C aus und erwärmen die Luft auf 500° C. Pro Kerzenstärke werden 45 *l* Gas verbraucht.

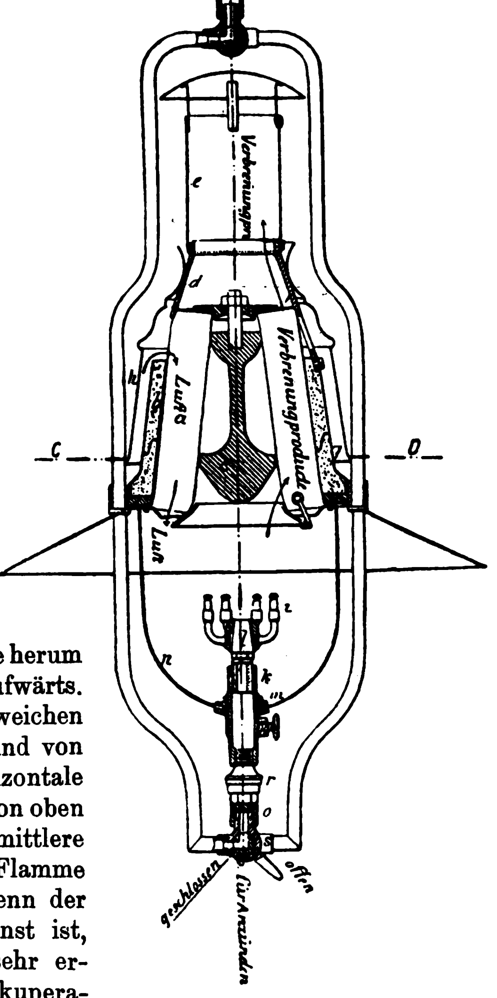


Fig. 33.

Die Schülkelampe (Fig. 33, 34) hat einen Rekuperator, der aus vielfach gefälteltem Nickelbleche (Fig. 34) hergestellt ist

und daher eine große Oberfläche besitzt. Nach außen ist derselbe in seinem unteren Teile von einem Mantel (Isolierschicht) b f umgeben. Ganz ähnlich ist auch der Azèmabrenner gestaltet.

Alle diese Brenner fordern sehr genaue Regulierung des Luftzutrittes. Strömt infolge einer Druckänderung, mehr Gas zu, so reicht die Luftmenge nicht mehr zu vollständiger Verbrennung hin und die Brenner können rauchen oder verlöschen. Natürlich gibt auch hier ein bestimmter Gasverbrauch die günstigste Lichtwirkung.

Die folgende, von E. Schilling herrührende Tabelle bezieht sich auf Lampen mit annähernd 300 *l* stündlichem Gasverbrauch, und gibt die 100 *l* Gas entsprechende Lichtstärke in Hefner-Einheiten. Die Leuchtkraft ist hier zufolge der Flammenform und der Refexion am Boden des Rekuperators je nach der Richtung der Lichtstrahlen verschieden. Die letzte Rubrik entspricht annähernd dem mittleren Nutzeffekte der Lampen.

Lampe	Leuchtkraft in Hefner-Einheiten unter einem Winkel von								Leucht-kraft unt. 50° bezog. a. Schnitt-brenner = 1
	0°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	
Wenhamlampe . . .	14·0	19·3	19·3	20·9	21·4	22·4	22·5	22·8	2·09
Bandseptlampe . . .	16·9	18·3	18·9	19·9	20·3	21·2	21·7	21·4	1·99
Sternlampe	15·8	18·9	18·7	18·2	18·6	18·4	17·4	18·4	1·82
Siemens invertierte Lampe	15·9	17·4	18·1	19·5	19·8	20·3	19·7	19·6	1·95
Westphallampe. . .	14·4	17·2	18·5	19·2	19·8	20·2	20·0	19·7	1·92
Sylvialampe	12·9	17·2	18·0	18·9	19·5	19·6	19·3	19·0	1·89
Siemens' Flachbrenner.	13·2	22·2	23·8	25·8	27·4	28·0	28·1	28·5	2·58
Schnittbrenner . . .	10·0	—	—	—	—	—	—	—	1·00

B. Brenner, die eine nicht leuchtende Flamme geben.

Die Entleuchtung der Flamme erfolgt durchwegs in der Weise, daß dem Gase vor seiner Entzündung Luft beigemengt wird. Dies geschieht in derselben Weise wie bei den bekannten Bunsenbrennern, doch stehen für die verschiedenen Zwecke, welchen die Brenner dienen sollen, und je nach der Gasmenge, die in einem solchen zur Verbrennung gelangen, mannigfache Konstruktionen zur Verfügung, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Um Entleuchtung zu erzielen, muß dem Gase vor seiner Entzündung die 1·5- bis 2·5fache Luftmenge (Volumen) beigemengt werden.

Beim 3·5fachen Luftvolum beginnt die Gefahr des Zurückschlagens, wenn nicht Gebläse in Verwendung kommen.

Eine derartige entleuchtete Gasflamme beginnt zu leuchten, wenn man in derselben feste Körper zum Glühen bringt. Auf diesem Prinzipe beruhen die Gasglühlampen. Als „Glühkörper“ verwendet man Stoffe von möglichst großem Leuchtvermögen. Anfangs nahm man zu diesem Zwecke Gewebe aus Platindraht (Lewis, 1884), doch hat dieses Metall — außer seinem hohen Preise — noch den Übelstand, in Berührung mit Kohlenstoff brüchig zu werden; überdies ist seine Leuchtkraft relativ gering, so daß man hievon bald abging.

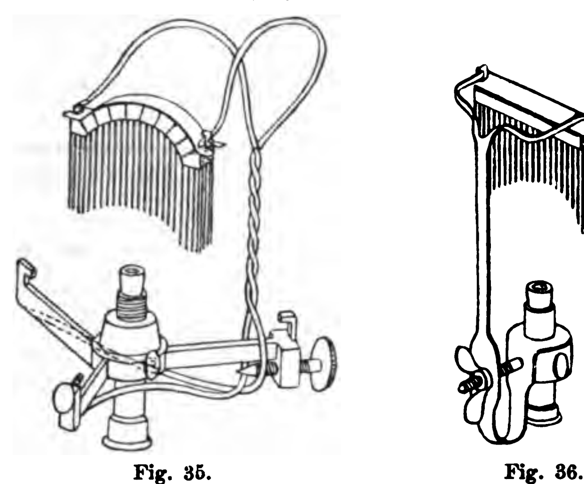


Fig. 35. Fig. 36.

Beim Clamond-Brenner dienen als Glühkörper Magnesiastäbchen, die, in Glimmer eingerollt, eine Art Fahne bilden. Um mittels dieser Brenner eine befriedigende Leuchtkraft zu erhalten, braucht man eine hohe Flammentemperatur, was einen kräftigen Zug und hohe Zylinder nötig macht. Diese Lampen geben sehr schönes Licht, doch halten die Magnesiumfahnen nicht lange.

Fahnehjelm verwendet zu gleichem Zwecke (namentlich zur Beleuchtung mit Wassergas) Magnesiakämme (Fig. 35 u. 36), die bei 190 *l* stündlichem Gasverbrauche anfangs 45—50 Kerzen geben, aber rasch an Leuchtkraft verlieren.*)

Eine Umwälzung in der Beleuchtungstechnik bewirkte die Entdeckung Auer von Welsbach's, daß die Oxyde von Cer, Dydim, Erbium, Lanthan, Niob, Thorium, Yttrium und Zirkon in der Glüh-

*) Nach Strache geht ihre Leuchtkraft nach 15 Brennstunden von 27 auf 11 Kerzen herab.

hitze ein besonders großes Lichtemissionsvermögen besitzen. Die Thorerde zeichnet sich gegenüber der Magnesia dadurch aus, daß sie sich beim Erhitzen nur wenig zusammenzieht. Um seine Leuchtkraft zu erhöhen, wird ihm $^1/_2$% Ceroxyd beigemengt.

Als Träger dieser Substanzen dient ein aus Baumwolle hergestellter feinmaschiger „Glühstrumpf", der durch Eintauchen in eine Lösung der Nitrate der seltenen Erden imprägniert und dann getrocknet wird. Nach dem Abbrennen wird ihm mittels einer Preßflamme von etwa 1·20 *m* Druck eine solche Form gegeben, daß er sich der heißen Zone einer Bunsenflamme gut anpaßt. Schließlich wird er noch, um ihn für die Aufbewahrung und den Transport widerstandsfähiger zu machen, mit einem Firnisüberzuge versehen, der vor der Ingebrauchnahme abgebrannt werden muß. Zum Erhitzen des Glühstrumpfes dient ein Bunsenbrenner über welchen der an einem Stäbchen aufgehängte Strumpf gestützt wird.

Die Auerbrenner werden in verschiedenen Größen, also für verschiedene Lichtstärken und Gasverbrauche hergestellt.

Frische Auerstrümpfe geben bei einem stündlichen Konsum von

95	Liter Gas	48	Hefnereinheiten
120	„ „	80	„
55	„ „	30—35	„
175—180	„ „	155	„
112	„ „	66	„ (phys. Reichsanstalt).

Mit fortschreitender Gebrauchszeit nimmt diese Lichtstärke jedoch wesentlich ab, u. zw. anfangs rascher als später.

So fand Öchelhäuser bei 110 *l* Gaskonsum und 20—40 *mm* Druck die Lichtstärke im Mittel

anfangs	58·3	Hefner-Einheiten	Abnahme der Lichtstärke	—
nach 500 Brennstunden	45·2	„ „		22·4%
„ 800 „	32·7	„ „		43·9%

Le Chatelier gibt bei einem Gaskonsum von 140 *l* die 1 Carcel entsprechende Gasmenge an

anfangs	zu 24 *l*
nach 250 Stunden	„ 50 „
„ 500 „	„ 90 „

Die Ursache dieses Schwächens der Leuchtkraft wird teils in einer Verflüchtigung der Oxyde, teils in einem Abschmelzen oder Abfliegen feiner Faserchen der Strümpfe, teils in der Einwirkung von Eisenkohlenoxyd gesucht, das eine Ablagerung von Eisenoxyd auf den Glühkörper bewirkt.

Hienach ist die Ausnützung des Gases im Auerbrenner durchschnittlich fünfmal so groß als im offenen Schnittbrenner und

2—2½mal so groß als im Regenerativbrenner. Hiezu kommt noch, daß nach Öchelhäuser die Wärmeausstrahlung des Auerbrenners nur ⅕ so groß ist als beim gewöhnlichen Gasbrenner und 3·5mal größer als bei der elektrischen Glühlampe. Dementsprechend ist auch die Verunreinigung der Luft durch die Verbrennungsprodukte weit kleiner als bei den übrigen Gasbrennern.

Nach Feldmann hat die leuchtende Strahlung, in Prozenten der Gesamtstrahlung ausgedrückt, für verschiedene Brenner folgende Werte:

Brenner		Gasverbrauch pro Stunden-Kerze in Liter	Wirkungsgrad in %
6 Kubikfuß-Schnittbrenner (250 *l*)		14·8	2·7
Argandbrenner		10·9	3·77
Siemens-Regenerativ-Brenner Nr. 3	unter 0°	7·05	5·77
Siemens-Regenerativ-Brenner Nr. 3	„ 45°	9·75	4·1
dto. Nr. 1	unter 0°	7·30	5·5
dto. Nr. 1	„ 30°	9·96	4·0
dto. Nr. 1	„ 45°	12·2	3·3
Wenhambrenner Nr. 2	unter 0°	8·77	4·6
Wenhambrenner Nr. 2	„ 45°	5·77	6·9
Wenhambrenner Nr. 2	„ 90°	5·58	7·2
dto. Nr. 4	unter 0°	6·92	5·8
dto. Nr. 4	„ 25°	4·51	8·9
dto. Nr. 4	„ 45°	3·98	10·1
dto. Nr. 4	„ 65°	3·42	11·7
dto. Nr. 4	„ 90°	3·33	12·0
Auerbrenner		2	20·0
Auerbrenner		1·5	26·6
Auerbrenner		1·0	40·0

Ins Gebiet der Gasglühlampen gehören auch die Versuche, Leuchtgas, Wasserstoff, etc. in einem geeigneten Brenner mit Sauerstoff zu verbrennen und mit dieser Flamme einen Zylinder aus Kalk, Magnesia, Zirkonerde, etc. zum Glühen zu bringen (Drummond'sches Kalklicht, Apparate von Debray, Copcutt, Faraday, Troost, Caron, Linnemann, Koch, — Monkhovens

Titan- und Chromchloridlicht, Harnacker's Olivin-Alkohol-Sauerstofflicht, — Hydro-Oxygengasbeleuchtung von Tessié du Motay, Carboxygenlicht, etc.).

III. Kapitel.

Lampen und Kerzen.

Das älteste Beleuchtungsmittel waren wohl harzreiche Hölzer, die auch selbst heute noch (Kienspäne) in Gebirgsländern Verwendung finden. Einen bedeutenden Fortschritt stellte die Anwendung flüssiger Leuchtstoffe dar, zu deren Verbrennung ein eigener Apparat dient, den man als Lampe bezeichnet. Die Lampen bestehen aus einem Gefäße, das zur Aufnahme des flüssigen Leuchtstoffes bestimmt ist, und aus einem porösen Körper (Docht), in welchem derselbe bis zur Verbrennungsstelle aufsteigt und so die Flamme nährt.

Die Anwendung fester Leuchtstoffe führte zur Erfindung der Kerzen, bei denen ein Gefäß überflüssig ist, aber ebenso, wie in den Lampen, ein Docht vorhanden sein muß.

Anderseits gibt es auch dochtlose Lampen, bei welchen der flüssige Leuchtstoff durch die in der Flamme produzierte Wärme unmittelbar verflüchtigt wird.

Die Leuchtstoffe, deren man sich bei der Kerzen- und Lampenbeleuchtung bedient, lassen sich*) in folgender Weise übersichtlich anordnen.

I. Feste Leuchtstoffe.

A. Mit gasförmigen Verbrennungsprodukten; die Lichtemission bewirkt in der Flamme abgeschiedener fester Kohlenstoff: Kerzenbeleuchtung. Die hiebei verwendeten Leuchtmaterialien sind:

1. Talg.

2. Stearin- und Palmitinsäure, aus Talg, bezw. Palmöl abgeschieden.

3. Wachs (tierisches und pflanzliches).

4. Walrat (Spermazet).

5. Paraffin, durch trockene Destillation von Petroleum, Ozokerit (Erdwachs) und Teer (Braunkohlen, Boghead- und Torbanehillkohle, Torf und bituminösen Schiefern) gewonnen.

---

*) Nach Muspratt.

II. Flüssige Leuchtstoffe (Öle): Lampenbeleuchtung.

A. Öle aus dem Pflanzenreiche:

1. Fette, nicht flüchtige Öle (Rüböl, Rapsöl, Baumöl, etc.)

2. Flüchtige Öle, wie Camphin (rektifiziertes Terpentinöl) und Pinolin (gereinigtes Kienöl).

B. Flüssige Fette aus dem Tierreiche (Tran).

C. Flüchtige Öle aus dem Mineralreiche: Mineralöle.

1. Bei Lampen mit Docht verwendet.

a) Natürlich vorkommende Öle: Rohes Petroleum (Erdöl).

b) Leichte Teeröle, ein Produkt der fraktionierten Destillation von Teer aus Torf, Braunkohle, bituminösem Schiefer, Bergwachs, etc. Je nach dem spezifischen Gewichte und der Flüchtigkeit unterscheidet man: Photogen, Hydrokarbür, Schieferöl, Benzin, Kohlennaphtha (als leicht flüchtig) und Solaröl, raffiniertes Petroleum, etc. (als schwer flüchtig).

c) Destillationsprodukte von rohem Petroleum, von denen man (nach steigendem spezifischen Gewichte und abnehmender Flüchtigkeit geordnet) unterscheidet: Petroleumäther (Ligroine), Photogen und Solaröl.

2. Bei Lampen ohne Docht (Gas-, Dunst- oder Dampflampen) in Anwendung.

a) Durch Erwärmung des flüchtigen Leuchtstoffes mittels der Flamme oder des heißen Brenners und Mischen des Dampfes mit Luft (Lampen von Beale und Busson-Dumorier, etc.).

b) Durch Eintreten komprimierter Luft in den kalten Brennstoff (Herzog's Hydrocarbür-Lunar-Gaslampe, etc.).

D. Alkohol für sich oder mit kohlenstoffreicheren Flüssigkeiten gemischt.

E. Schwefelkohlenstoff unter Zuführung von Stickoxydgas (Lampen von Sell, Delachanel und Mermet).

Da alle hier in Betracht kommenden Stoffe zweckmäßiger in anderen Teilen der chemischen Technologie besprochen werden, können wir uns hier auf die Art ihrer Verwendung zu Leuchtzwecken, also auf eine kurze Beschreibung der Kerzen und Lampen beschränken.

A. Kerzen.

Die ersten kerzenartigen Leuchtmittel scheinen die Römer angewendet zu haben, die (nach Plinius und Livius) in Pech oder Wachs getränkte Flachsschnüre, später in Pech getauchte

und mit Wachs überzogene Binsen, etc. anwendeten. Zur Zeit der Christenverfolgungen sollen die ersten Kerzen im heutigen Sinne zur Anwendung gekommen sein, und Apulejus unterscheidet am Ende des zweiten Jahrhunderts schon Wachs-(Cerei-) und Talgkerzen (Sebacei). Am Anfange des vierten Jahrhunderts beleuchtete Kaiser Konstantin die Stadt Byzanz am Christabend mit Lampen und Wachskerzen (Eusebius). Im Mittelalter wurden Wachskerzen und Wachsfakeln mit Dochten aus gedrehtem Werg gegossen und der englische König Alfred benützte Wachskerzen zur Zeitbestimmung. Im XV. Jahrhundert wurde die Anwendung von Talgkerzen eine allgemeinere, aus dem Anfange des XVIII. Jahrhunderts dadiert die Erfindung der Walrat- oder Spermazetikerzen und am Anfange des XIX. Jahrhunderts wurden die ersten Stearinkerzen hergestellt. Im Jahre 1837 führte de Milly, der schon früher Verbesserungen in der Verseifung der Fette, der Präparierung der Dochte, der Herstellung der Kerzen, etc. gemacht hatte, die Stearinkerzenfabrikation (Millikerzen) in Österreich ein, die erste Fabrik in Berlin wurde etwa zur selben Zeit von Maquet und Öhmichen, in Paris (1840) von Motard errichtet.

Das 1830 von v. Reichenbach entdeckte Paraffin fand relativ spät Anwendung in der Kerzenfabrikation. Die 1839 von Selique auf der Pariser Industrieausstellung ausgestellten Mineralwachskerzen waren noch recht unscheinbar, und erst 1850 wurde die erste Paraffinkerzenfabrik von James Joung in Manchester errichtet. Früher als Paraffin fand der Ozokerit (Berg- oder Erdwachs, fossiles Paraffin) in der Moldau, in Galizien, Niederösterreich, Frankreich, England, etc. zur Kerzenfabrikation Verwendung.

Der Kerzendocht wird heute nur mehr aus geflochtenen oder gedrehten Baumwollfäden hergestellt. Flachs oder Hanf ist hiezu weniger geeignet. Man unterscheidet gedrehte und geflochtene Dochte. Erstere haben den Nachteil, daß das verkohlte Ende des Dochtes in der Flamme hinausragt, nicht verbrennt und Ruß ansetzt, was ein Putzen (Schnäuzen) der Dochte nötig macht. Sie finden für Talg- und Wachskerzen Anwendung.

Die gewöhnlich aus drei Schnüren geflochtenen Dochte neigen sich infolge der Spannung der Fäden mit ihrem Ende aus der Flamme heraus und verbrennen daher rasch, so daß das Putzen wegfällt. Für weiche Leuchtstoffe (Talg) werden meist locker geflochtene Dochte verwendet.

Um das Verbrennen der Dochte zu erleichtern, werden dieselben (die geflochtenen) gebeizt oder präpariert. Hiezu verwendet man:

a) Sehr verdünnte Lösungen vom Oxydationsmitteln (Kaliumchlorid, Salpeter, Wismuthnitrat),

b) verdünnte Schwefelsäure (Cambacères).

c) verdünnte Lösungen solcher Stoffe, welche die Schmelzbarkeit der Dochtasche vergrößern (Borsäure, Borax, Chlorkalium, Ammoniumphosphat und -Borat).

Die Dicke der Dochte richtet sich nach dem Querschnitte der Kerzen, für welche sie bestimmt sind. Ist der Docht zu dünn, so bleibt ein Mantel des Kerzenmaterials stehen, ist er zu dick, so fließt die geschmolzene Kerzenmasse ab. Für Talgkerzen verwendet man jedoch dickere Dochte, um die Flamme höher über das Kerzenmaterial emporzuheben und eine zu starke Erhitzung und Schmelzung desselben zu vermeiden.

Die Herstellung der Kerzen erfolgt entweder durch Ziehen (jetzt nur mehr sehr selten angewendet) oder durch Gießen. Wachskerzen werden auch noch durch Umwickeln des Dochtes mit Wachsband und durch Pressen hergestellt. Zum Gießen der Kerzen ist der Docht in geeigneter Form ausgespannt.

Paraffinkerzen werden meist, um das Wolkigwerden zu verhindern, mit einem Zusatze von Stearinsäure hergestellt. Der Schmelzpunkt der Kerzenmasse wird hiedurch nur wenig geändert, wie folgende Zahlen zeigen:

a) Hartparaffin, Schmelzpunkt 56° C.

Paraffin %	Stearinsäure %	Schmelzpunkt, ° C
100	0	56
90	10	53·25
80	20	52·75
70	30	52·5
60	40	48·5
50	50	47
40	60	47
30	70	48·5
20	80	49
10	90	52·25
0	100	53

b) Weichparaffin, Schmelzpunkt 48° C.

Paraffin %	Stearinsäure %	Schmelzpunkt, ° C
100	0	48
90	10	50
80	20	48
70	30	46
60	40	45
50	50	44·5

Paraffin %	Stearinsäure %	Schmelzpunkt, ° C
40	60	44·75
30	70	47·5
20	80	49
10	90	52
0	100	53

c) Weichparaffin, Schmelzpunkt 43° C.

Paraffin %	Stearinsäure %	Schmelzpunkt, ° C
100	0	43
90	10	42
80	20	42
70	30	40·25
60	40	42·5
50	50	44
40	60	46
30	70	49
20	80	49·75
10	90	51·5
0	100	53

B. Lampen.

Obwohl die Lampen schon frühzeitig Anwendung fanden, hat man doch erst seit dem Ende des XVIII. Jahrhunderts angefangen, Verbesserungen an denselben einzuführen. Bis dahin bestanden dieselben aus einem Ölbehälter mit Schnauze, in welchen ein aus gedrehten Fäden hergestellter runder Volldocht eintauchte, dessen durch die Schnauze geführtes Ende entzündet wurde. 1783 wurden von Leger die Plattdochte und von Argand die hohlen Runddochte sowie der Zugzylinder eingeführt.

Die seitliche Anordnung des Ölbehälters wurde schon 1550 von Cardanus in seiner Flaschenlampe angewendet, doch erst 1809 fand Bordier-Marcet in seiner Astrallampe ein Mittel, das Ölniveau möglichst konstant zu halten, und 1819 gab Parkes dem (ringförmigen) Ölbehälter eine solche Gestalt, daß er bei Anwendung einer passenden Glaskuppel keinen Schatten warf (Sinumbralampe). 1765 wurden (von Grosse in Meißen oder von Abbé Mercier) die Pumplampen erfunden, die 1800 durch Carcel (in seiner Uhrlampe) eine wesentliche Verbesserung erfuhren. Weitere Verbesserungen, die alle darauf hinauskamen, das Öl durch verschiedene Mittel aus dem tieferliegenden Reservoir zum Dochte zu heben, waren die hydrostatischen, aerostatischen und statischen Lampen. Die vollkommenste der letzteren bildet die Moderateurlampe von Franchot (1836).

Eine gründliche Umgestaltung der Lampenbeleuchtung bewirkte die Anwendung flüchtiger Mineralöle. Die erste Verwendung fand das Petroleum schon 1819 zur Beleuchtung galizischer Gruben. 1837 konstruierte Beale eine Lampe für Petroleum und Stein-



Fig. 37. (Nach Muspratt).



Fig. 38. (Nach Muspratt).



Fig. 39. (Nach Muspratt).

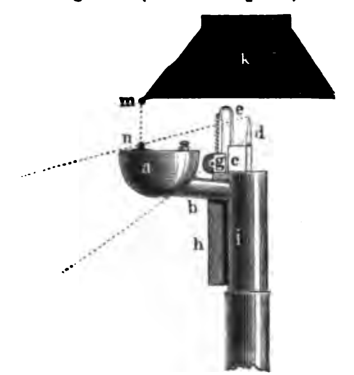


Fig. 40. (Nach Muspratt).

kohlenteeröl ohne Docht und mit Gebläsevorrichtung, die schließlich durch die Petroleumlampen mit Docht und Zylinder ebenso verdrängt wurden wie die verschiedenen Lampen für Pflanzenöle.

Man kann die verschiedenen Arten der Lampen in folgender Weise einteilen:

a) **Sauglampen**: Das Öl wird durch die Kapillarwirkung eines Dochtes vom tiefer liegenden Ölbehälter zur Flamme gehoben. Man unterscheidet:

α) **Solche für nichtflüchtige Öle**, bei welchen das Ölgefäß seitlich, u. zw. gewöhnlich so angeordnet ist, daß das Ölniveau desselben dem Ölstand im Brenner entspricht. Hieher gehören:

1. Lampen mit rundem, vollem Docht:

Die Küchenlampe (Fig. 37) und die Harzer Grubenlampe (Fig. 38). Letztere hat einen sehr flachen Ölbehälter und gleicht in ihrer Form sehr der antiken Lampe.

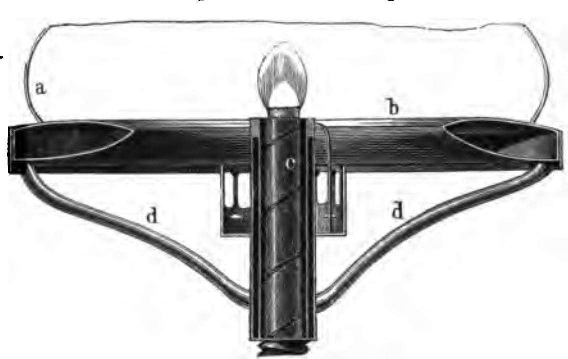


Fig. 41. (Nach Muspratt).

2. Lampen mit Flachdocht, die eine vollkommenere Verbrennung geben als die vorigen: Als Beispiele nennen wir die Flurlampe (Fig. 39) und die Studierlampe (Fig. 40).

3. Lampen mit Hohldocht (Argandbrenner) geben, da hier Zylinder zur Anwendung kommen und die Luft sowohl außen als innen Zutritt zur Flamme findet, eine sehr

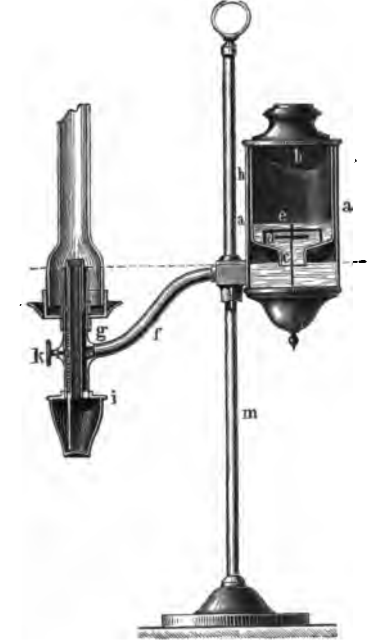


Fig. 42. (Nach Muspratt).

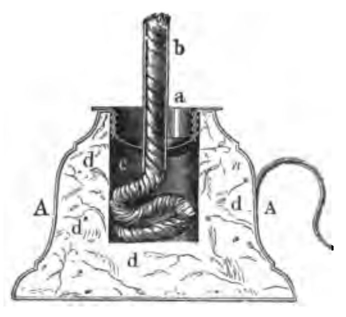


Fig. 43. (Nach Muspratt).

vollkommene Verbrennung. Hieher gehören die Astral-, Kranz- oder Ringlampen, von denen die schattenlose Sinumbralampe von Parker (Fig. 41) schon oben erwähnt wurde. Eine Konstruktion

mit seitlichem Ölbehälter und Einrichtung zur Konstanterhaltung des Ölniveaus im Brenner zeigt Fig. 42.

β) **Sauglampen für flüchtige Öle.** Der aus Glas, Porzellan oder Blech hergestellte Ölbehälter findet sich meist unter dem Brenner, u. zw. kann der Höhenunterschied hier ein größerer sein als bei nicht flüchtigen Ölen. Da die hier verwendeten Leuchtmaterialien sehr kohlenstoffreich sind, darf einerseits nicht zu viel Öl verdampfen, weshalb man den Docht kaum oder doch nur

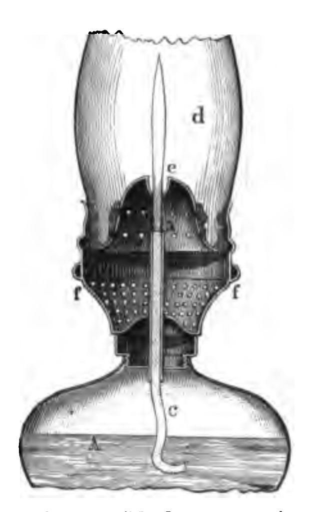



Fig. 44. (Nach Muspratt.)

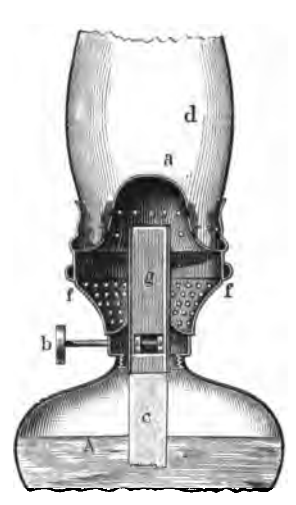


Fig. 45. (Nach Muspratt.)

wenig über den Brennerrand vorstehen läßt, anderseits muß für kräftigen Luftzutritt durch geeignete Zylinder*) gesorgt werden.

Bei der Anwendung sehr flüchtiger Öle bringt man oft den Lampendocht nur mit einem Schwamme d in Berührung, der mit dem Leuchtstoffe getränkt ist, wie bei den Ligroinlampen (Fig. 43), ja man hat auch solche Lampen mit Tondocht und Sandfüllung (statt des Schwammes) angewendet.

Bei der Photogenlampe (Fig. 44, 45) wird das flüchtige Öl durch einen Flachdocht gehoben. Die durch die Wärmestrahlung der Flamme entwickelten Dämpfe sammeln sich unter der geschlitzten Blechhaube und kommen mit Luft gemischt zur Verbrennung, wodurch das Rußen vermieden wird. Ganz ebenso sind auch die gewöhnlichen Petroleumlampen mit Flachdocht eingerichtet.

---

*) Höhere Zylinder mit starker Einschnürung, oder sogenannte Liverpool-lampenzylinder.

Die von **Block** konstruierte Petroleumlampe mit Argandbrenner (Fig. 46) hat einen flachen Saugdocht C und einen diesen berührenden Hohldocht b. Die Luft tritt teils von außen, teils von innen zur Flamme, der Zylinder hat eine starke Einschnürung.

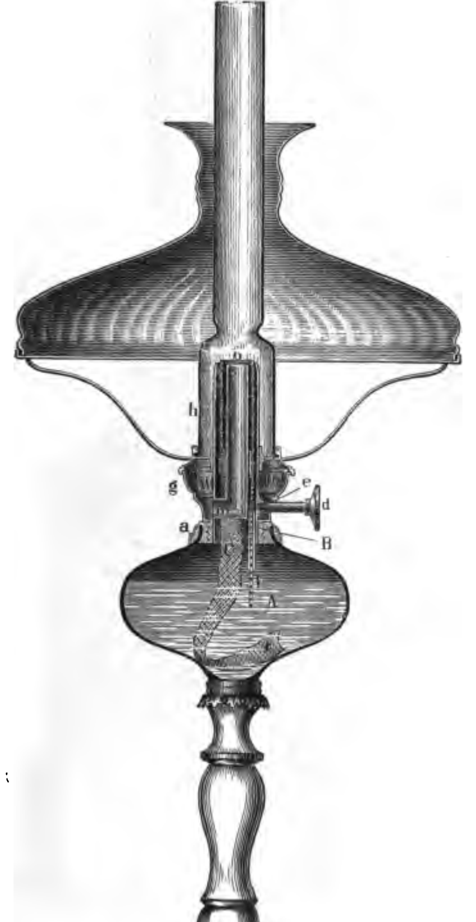


Fig. 46. (Nach Muspratt.)

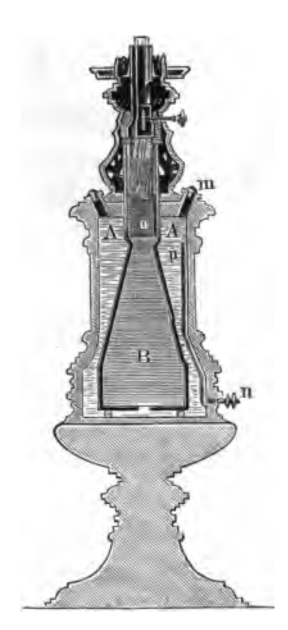


Fig. 47. (Nach Muspratt.)

Um die Leuchtkraft derartiger Lampen zu erhöhen, dient das über der inneren Luftzuführung angebrachte Scheibchen der Liverpoollampe, das den Innenzug erhöht. Auf weitere Modifikationen dieser Lampen kann hier nicht eingegangen werden.

b) **Drucklampen.** Die im Lampenfuße enthaltenen meist flüchtigen Öle werden durch eine passende Vorrichtung kontinuierlich in geeigneter Menge emporgehoben. Je nach der verwendeten Hebevorrichtung unterscheidet man:

α) Hydrostatische Lampen, wie die Hydropetrollampe (Wasseraufgußlampe) von Zängerle (Fig. 47), bei

welcher das Gewicht des im äußeren Gefäße A befindlichen Wassers das Petroleum in B zum Dochthalter drückt.

β) Aerostatische Lampen, bei denen komprimierte Luft nach Art des Heronsballes auf das Öl drückt (Lampen von Girard,

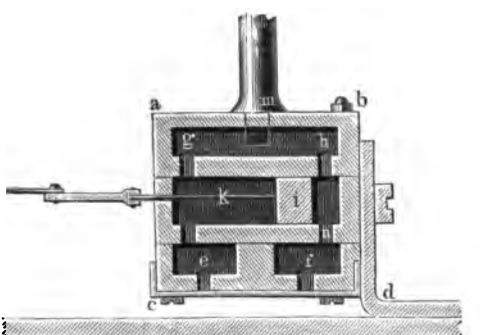


Fig. 48. (Nach Muspratt.)



Fig. 49. (Nach Muspratt.)

1804; Leroy, 1816; Passé, 1817; Allard, 1822; Parker, 1822; Caron, 1823; Crivelli, 1827; Milan, 1828; Chapuy, 1834, u. s. w.).

γ) Pumplampen, bei welchen eine zeitweise von Hand bewegte Druckpumpe wirksam war. Diese meist recht alten Lampenkonstruktionen (Grosse, 1765; Hoffmann, 1797; Brochant, 1803) sind nicht mehr in Verwendung.

δ) Mechanische Lampen. Die Carcel'sche Uhrlampe (Fig. 48) besitzt eine durch Feder und Uhrwerk getriebene Pumpvorrichtung mit in horizontaler Richtung hin und her gehendem Kolben i. Bewegt sich derselbe nach links, so schließen sich die Ventile e und h, während sich f und g öffnen. Es wird bei f Öl in die Pumpe gesaugt, während das schon darin befindliche durch g in den oberen Teil der Pumpe und durch das Steigrohr m zum Dochte gedrückt wird. Bewegt sich der Kolben in entgegengesetzter Richtung, so werden f und g geschlossen, e und h aber geöffnet; das Öl wird bei e in die Pumpe eingesaugt und durch h in das Steigrohr getrieben.

Die vorzüglichste mechanische Lampenkonstruktion stellt die von Franchot 1836 erfundene Moderateurlampe dar (Fig. 49). Auf dem im unteren Teile des Ölgefäßes A befindlichen Öle ruht der Kolben B, der aus zwei Blechscheiben besteht, zwischen denen sich eine Lederscheibe befindet, deren vorspringender und nach unten gebogener Rand sich gut an die Gefäßwand anschließt und einen dichten Verschluß bildet (Liderung). Mittels der am Kolben festgelöteten Zahnstange *bb*, des Triebes c und des Schlüssels n kann der Kolben nach oben bewegt werden, wobei die Spiralfeder d zusammengepreßt wird. Ihre Ausdehnung drückt den Kolben nach abwärts und preßt das Öl durch das Steigrohr e zum Dochte. Zur Regulierung des Ölzuflusses zum Dochte dient der Moderateur, (Fig. 50), der dem Wesen nach aus einem Nadelventile besteht. Das Steigrohr e ist nämlich aus zwei Teilen hergestellt, dem weiter und oben befestigten Rohre h in dem engeren, in ersteres passenden und am Kolben festsitzenden Rohre i. Die Nadel k reicht von oben bis in die Mündung der letzteren Röhre und verengt dieselbe, wenn der Kolben nach aufwärts gezogen wird, wodurch die stark zusammengepreßte Feder die höchste Spannung erreicht.

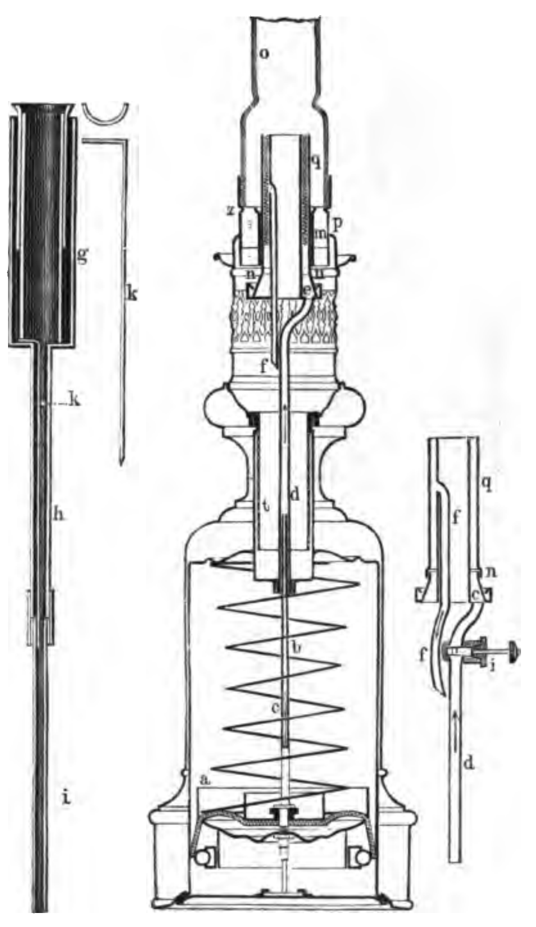


Fig. 50. Fig. 51. (Nach Muspratt). Fig. 52.

Um diese Lampe für Petroleum brauchbar zu machen, darf letzteres, dessen Entflammungspunkt weit tiefer liegt als jener von



Fig. 53. (Nach Muspratt.)

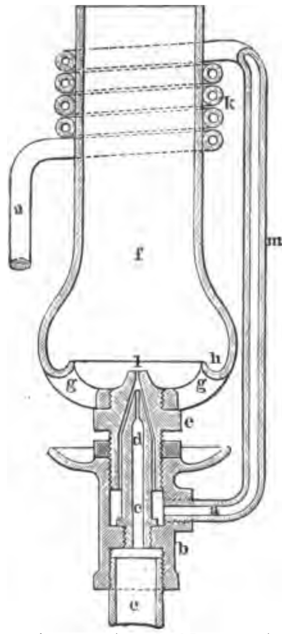


Fig. 54. (Nach Muspratt.)



Fig. 55. (Nach Muspratt.)

Pflanzenölen, nicht bis zur Brennermündung hinaufgedrückt werden. Zu diesem Zwecke ist in dem ringförmigen Brennerraume e der Moderateurlampe von Bourdon, Jacquemin und Grémion (Fig. 51, 52) ein Überfallrohr f angebracht, so daß das Petroleum nur bis zu dessen oberem Ende steigen kann.

c) **Dampflampen** sind Lampen ohne Docht, bei denen der (meist flüchtige) Leuchtstoff durch eine kleine Hilfslampe oder durch die Wärme der Leuchtflamme selbst verdampft.

d) **Lucigenlampen** dienen zur Beleuchtung großer Räume und erreichen

dies durch mächtige, 1 *m* hohe Flammen von großer Leuchtkraft (10000 Kerzen).

Der Leuchtstoff (Paraffinöle der Solarölfabrikation, Rohteer) wird entweder mittels einer mit gepreßter Luft oder Dampf gespeisten Düse in der Brenneröffnung verstäubt (Sprühlampen) oder in besonderen Vorrichtungen verdampft oder vergast und in dieser Form dem Brenner zugeführt (Ölgasbrenner).

Die Sprühlampe von Hannay (Fig. 53) hat drei Brenner und gibt eine Lichtstärke von 10000 Kerzen. Der Leuchtstoff wird mittels des Injektors d c (Fig. 54) in den Brenner f gestäubt. Hiezu dient Dampf, der durch das Rohr a a zugeführt und in der Heizschlange k überhitzt wird.

Die Climaxlampe (Fig. 55) besteht aus dem Ölbehälter A, von dessen Boden das Öl mittels des Hahnes e in den aus den Röhren b_1, b_2 und b_3 bestehenden Verdampfer fließt, der rund um den unteren Teil der Flamme angeordnet ist. Der hier durch die Strahlung der Flamme erzeugte Dampf gelangt zum Teile durch i nach abwärts zum Brenner und wird dort entzündet, während ein anderer Teil durch f, g und h in den oberen Teil des Ölreservoirs zurückströmt und so das Öl zum Verdampfer drückt.

e) **Sicherheitslampen.**

Sie sollen zur Beleuchtung solcher Räume dienen, in welchen sich explodierbare Gasgemische befinden oder doch befinden können (Schlagwetter in Kohlengruben, Lagerräume für flüchtige, brennbare Stoffe). Die Theorie der Sicherheitslampen wurde schon früher*) besprochen. Humphrey Davy hat 1816 die erste Sicherheitslampe einfach dadurch konstruiert, daß er die Flamme einer gewöhnlichen Öllampe allseitig mit einem dichten Drahtnetze umgab. Bringt man eine solche Lampe in ein explosibles Gasgemenge, z. B. in Schlagwetter, so treten je nach der Zusammensetzung derselben verschiedene Erscheinungen ein, weshalb die Lampe nicht nur in dem Sinne als Sicherheitslampe wirkt, daß sie die Entzündung der Schlagwetter verhindert, sondern noch überdies den Bergmann auf die vorhandene Gefahr aufmerksam macht. Bei niederem Grubengasgehalte vergrößert sich die Flamme unter Bildung einer Aureole; bei 5% Methangehalt entzündet sich die ganze innerhalb des Drahtnetzes befindliche Gasmasse, wobei die Ölflamme unbehindert fortbrennt. Bei 20% verlischt die Ölflamme, während die Gasmasse innerhalb des Drahtnetzes lebhaft weiterbrennt; bei 30% erlischt auch diese.

*) Lehrb. d. chem. Technologie der Energien, I., 2, p. 16.

Allerdings gibt die Sicherheitslampe keine unbedingte Sicherheit, da bei bewegter Luft (wie sie namentlich bei Sprengungen auftritt) ein Durchschlagen der Flamme und Entzündung der Schlagwetter außerhalb der Lampe vorkommen kann. Die zahlreichen Verbesserungen, welche an der Davy'schen Sicherheitslampe vorgenommen wurden, bezwecken:

1. Erhöhung der Leuchtkraft;
2. Sicherung des Verschlusses, so daß ein Öffnen der Lampe unmöglich wird;
3. Entzündung der Lampe, ohne sie öffnen zu müssen;
4. Verhinderung des Durchschlagens der Flamme und
5. selbsttätiges Auslöschen der Flamme, wenn größere Mengen explosiver Gasgemische in die Lampe eintreten.

IV. Kapitel.

Photometrie.

Bei Beurteilung der verschiedenen Beleuchtungsarten muß man beachten:

1. Die Lichtstärke der benützten Lichtquelle, und zwar:

   a) pro Lampe,

   b) pro Gewichts- oder Volumseinheit der pro Stunde verbrauchten Leuchtstoffe,

   c) in bezug auf den Preis (wobei der Verbrauch an Zylindern, Glühstrümpfen, etc. in Rechnung zu ziehen ist).

2. Die von einer Flamme pro Stunde gelieferten Verbrennungsprodukte.

3. Die pro Flammenstunde produzierten Wärmemengen. Hiezu wäre noch

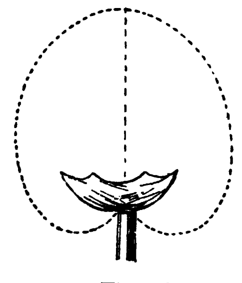
4. Der Nutzeffekt der Beleuchtung zu rechnen, d. i. das Verhältnis der von einer Lampe gelieferten Energie der sichtbaren Strahlung zu der Gesamtenergie, welche zur Erzeugung derselben aufgewendet werden muß.

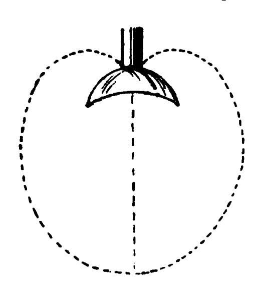
Im folgenden wollen wir uns eingehender mit der Bestimmung der Lichtstärke oder, mit anderen, Worten der Leuchtkraft (Photometrie) beschäftigen.

Die genaue Bestimmung der Leuchtkraft einer Lampe bietet eine Reihe von Schwierigkeiten, die zunächst besprochen werden müssen. Es sind folgende:

a) Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Dieselbe ist verschieden je nach der Lichtstärke sowohl, als auch für weißes und farbiges Licht. Für weißes Licht ist dieselbe am größten, wenn der beleuchtete Gegenstand ungefähr dieselbe Helligkeit besitzt, wie wenn er von diffusem Tageslicht beleuchtet würde. Mit wachsender Helligkeit sowohl, als — und zwar noch rascher — mit abnehmender, sinkt die Empfindlichkeit des Auges. So beträgt beispielsweise der noch merkbare Helligkeitsunterschied nach Helmholtz an einem hellen Sommertage bei diffuser Beleuchtung $\frac{1}{167}$, bei direkter Sonnenbeleuchtung aber nur $\frac{1}{150}$. Für verschiedene Farben ist das Auge sehr ungleich empfindlich. Das Maximum der Empfindlichkeit liegt im Gelbgrün, gegen Violett sowohl als gegen Rot hin nimmt die Empfindlichkeit ab.

Hiebei schätzt das Auge nicht gleiche absolute Helligkeitsunterschiede, sondern gleiche Helligkeitsverhältnisse als gleich groß.


Fig. 56.


Fig. 57.

b) Ungleiche Lichtemission nach verschiedenen Richtungen. Eine Lampe sendet nicht nach allen Seiten Licht von gleicher Stärke aus. Je nach der Art der benützten Brenner ist die Kurve, welche Punkte gleicher Beleuchtung miteinander verbindet, verschieden gestaltet. Im allgemeinen hat sie jedoch die in Fig. 56 und 57 angegebene Gestalt. Hiezu kommt noch, daß die vertikal nach oben ausgesendeten Lichtstrahlen in vielen Fällen (z. B. bei der Straßenbeleuchtung) nicht ausgenützt werden können, und daß anderseits die meisten Lampen nach unten (teilweise auch nach seitwärts) Schatten werfen.

c) Da die verschiedenen Lichtquellen nicht die gleiche Temperatur besitzen und die in denselben glühenden Körper mancherlei Art sind, senden sie auch Strahlen verschiedener Farbe aus und sind daher nur schwer miteinander vergleichbar.

Genaue Vergleichungen lassen sich somit nur bei monochromatischem Lichte und in Berücksichtigung der Richtung, in welcher das Licht von der Lampe ausgestrahlt wird, erreichen.

Hiezu kommt noch, daß ein und derselbe Brenner (bei der Gasbeleuchtung) nicht für alle Gase gleich gut paßt. Man tut daher gut, für jedes Gas den Brenner zu wählen, mit welchem die größte Leuchtkraft erzielt wird.

Zur Messung der Lichtstärke dienen verschiedene Lichteinheiten.

Schon 1847 wurden von Draper, 1859 von Zöllner und 1878 von Louis Schwendler Vorschläge gemacht, eine immer wieder vollkommen genau herstellbare Lichteinheit zu schaffen. Am Pariser Elektrikerkongreß im Jahre 1881 schlug J. Violle als solche jene Lichtmenge vor, welche von 1 cm^2 Oberfläche geschmolzenen Platins im Momente des Erstarrens ausgesendet wird. Um diese Lichteinheit („Violle" genannt) mit anderen Lichtquellen zu vergleichen, schmilzt man Platin vor einem Knallgasgebläse in einem Kalkofen, dessen Decke nicht völlig geschlossen ist. Um die Lichtemission auf 1 cm^2 zu begrenzen, dient ein Diaphragma, das aus einer Blechbüchse mit quadratischem Ausschnitte (1 *cm* Seitenlänge) besteht und durch fließendes Wasser gekühlt wird. Die Leuchtkraft des geschmolzenen Platins sinkt natürlich mit abnehmender Temperatur, bleibt aber während des Erstarrens konstant. Der Apparat ist ziemlich umständlich und braucht viel Platin (etwa 3 *kg*). Einfacher und billiger ist der von Siemens*) vorgeschlagene Apparat, bei welchem ein dünnes, 5—6 *mm* breites Platinblech mittels eines dasselbe durchfließenden elektrischen Stromes zum Schmelzen erhitzt wird. Zur Begrenzung der Strahlung dient ein Diaphragma von 0·1 cm^2 Öffnung. Während des Erhitzens steigt die Leuchtkraft des Platinbleches immer weiter, bis dieses schmilzt und plötzlich Dunkelheit eintritt. Man muß daher so lange photometrieren, bis dieser Punkt erreicht ist.

Überdies ist auch die Platin-Lichteinheit, wie Edison**), Cross***) und Liebenthal†) gezeigt haben, keine konstante Größe, da die Lichtemission des schmelzenden Platins von der vorhergehenden Behandlung des Metalles und seiner Reinheit abhängt und leicht Überschmelzungserscheinungen eintreten können. Unter diesen Umständen wird in der Photometrie vom Violle fast nie Gebrauch gemacht, sondern man benützt statt desselben Lampen oder Kerzen von möglichst gleichmäßiger Lichtentwicklung.

---

*) Compt. Rend., 98, p. 1032.

**) Elektrotechn. Zeitschr. 1887, 8, p. 39.

***) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1887, p. 134.

†) Elektrotechn. Zeitschr. 1888, 9, p. 445.

Besonders weite Verbreitung in der Photometrie fanden die Carcel-Lampe (hauptsächlich in Frankreich) und die Lampe von Hefner-Alteneck (namentlich in Deutschland).

Die Carcel-Lampe (bec Carcel) wurde schon früher*) beschrieben. Für jene Lampen, welche als photometrische Lichteinheiten dienen sollen, gaben Dumas und Régnault folgende Dimensionen an:

Innerer Durchmesser des Brenners	23·5 *mm*
„ „ „ inneren Luftzuges	17·0 „
„ „ „ äußeren Luftzuges	45·5 „
Höhe des Zylinders	290·0 „
„ der Einschnürung über dem unteren Rande des Glases	61·0 „
Innerer Durchmesser des Glases, oben	34·0 „
Äußerer „ „ „ unten	47·0 „
Mittlere Dicke des Glases	2·0 „

Die Lichtstärke dieser Lampe ist dem Ölverbrauche nicht proportional, wie aus dem Diagramme Fig. 58 ersichtlich. In der Nähe des Punktes A ändert sich die Lichtstärke wohl proportional dem Ölverbrauche, beim Punkte B aber (der dem Helligkeitsmaximum entspricht) nicht mehr. Letzterer Punkt wurde als Vergleichungspunkt gewählt, ihm entspricht ein Rübölverbrauch von 42 *g* pro Stunde. Der verwendete Docht (Leuchtturmdocht) ist aus 75 Strängen gewebt und wiegt 3·6 *g* pro 1 *dm* Länge. Die Leuchtkraft der Lampe wächst in der ersten halben Stunde des Brennens infolge der allmählichen Erwärmung des Brenners, bleibt dann etwa eine Stunde lang konstant, worauf sie — zufolge der fortschreitenden Verkohlung des Dochtes — wieder abnimmt. Zum Photometrieren wird die Lampe nur während ihrer konstanten Leuchtfähigkeit benützt, und nur solche Messungen sind als verläßlich anzusehen, bei welchen der Ölverbrauch pro Stunde 42 $g \pm 2$ g beträgt. Innerhalb dieser Grenzen wird die Lichtstärke dem Ölverbrauche proportional angenommen. Hiebei soll sich die Einschnürung des Zylinders 7 *mm* ober dem oberen Dochtrande befinden.

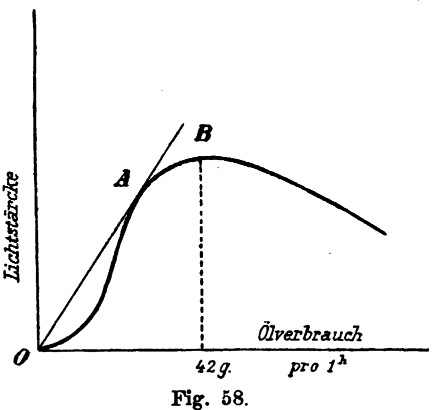
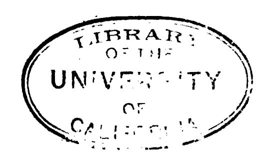


Fig. 58.

*) p. 78.



Die von Hefner-Alteneck empfohlene Amylacetat-Lampe ist in Deutschland sehr verbreitet und ist weit bequemer zu handhaben als die Carcel-Lampe. Es muß jedoch darauf gesehen werden, reines Amylacetat, ohne Alkoholzusatz, zu verwenden, das nicht sauer reagieren darf. Da es sich an der Luft zersetzt, muß es in gut schließenden Behältern aufbewahrt werden. Statt des Amylacetats hat man zur Füllung dieser Lampe auch Pentan (C_5H_{12}) vorgeschlagen. Um der Lampe die normale Leuchtkraft zu geben, muß die Flamme eine bestimmte Höhe haben. Zu diesem Zwecke diente bei den älteren Lampen ein Visier, während die neueren mit einem optischen Flammenmaße (nach Krüß) ausgerüstet sind, das aus einem achromatischen Objektive besteht, welches das Bild der Flammenspitze auf eine matte Glasscheibe wirft. Ein auf letzterer angebrachter horizontaler Strich entspricht einer Flammenhöhe von 40 *mm*. Außerdem wird der Lampe noch eine Lehre beigegeben, die zur Kontrolle der richtigen Stellung der Dochtröhre, also auch der Flammenhöhe, dient.

Statt der Lampen werden auch folgende Arten von Normalkerzen in der Photometrie benützt.

a) Die englische Walratkerze (London Standard Spermaceti Candle) soll bei einer Flammenhöhe von 44·5 *mm* pro Stunde 7·77 *g* (= 120 Grains) verbrennen.

b) Die deutsche Normalkerze, auch Vereinskerze genannt, ist aus Paraffin hergestellt und hat 20 *mm* Durchmesser und 50 *mm* Flammenhöhe.

c) Die französische Stearinkerze (Bougie de l'Étoile) und

d) die Münchner Normalkerze, gleichfalls aus Stearin hergestellt (52 *mm* Flammenhöhe).

Die folgende Tabelle gibt eine Vergleichung der verschiedenen Lichteinheiten:

Name	Violle	Carcel-lampe	Hefner-Einheit	Englische Normal-kerze	Deutsche Normal-kerze	französische Normal-kerze	Münchner Normal-kerze
Violle	1	0·481	0·073	0·054	0·061	0·062	0·055
Carcellampe	2·08	1	0·122	0·104	0·102	0·129	0·115
Hefner-Einheit	13·66	8·167	1	0·849	0·833	0·848	0·751
Englische Normalkerze	20	9·60	1·176	1	0·981	1·240	1·106
Deutsche „	16·4	9·80	1·20	0·820	1	1·017	0·902
Französische „	16·1	7·75	1·178	0·805	0·982	1	0·885
Münchner „	18·18	8·70	1·331	0·909	1·107	1·129	1

Die der Lichtstärkemessung zu Grunde liegenden physikalischen Gesetze sind folgende:

1. Die Lichtstärke ist dem Quadrate der Entfernung von der Lichtquelle verkehrt proportional.

2. Die Intensität der Beleuchtung einer Fläche ist dem Kosinus des Einfallswinkels der Lichtstrahlen proportional, welche die Fläche beleuchten.

3. Die Intensität des von einer Fläche ausgehenden Lichtes ist dem Kosinus des Winkels, unter welchem die Strahlen von der Fläche ausgesandt werden, proportional.

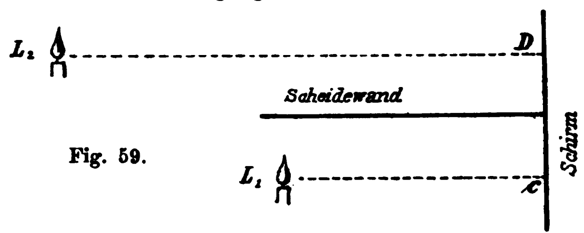


Fig. 59.

4. Die Lichtmenge, welche eine Fläche empfängt, ist der Größe dieser Fläche proportional.

5. Die von einer Fläche ausgesandte Lichtmenge ist der Größe dieser Fläche proportional.

Die wichtigsten zur Messung der Lichtstärke benützten Photometer sind folgende:

1. Photometer von Bouguer, das schon aus dem Jahre 1760 stammt. Zwei Lichtquellen L_1 und L_2 (Fig. 59) beleuchten einen undurchsichtigen Schirm*), von dem eine Scheidewand ausgeht, welche die Beleuchtung jeder Schirmhälfte durch eine einzige Lichtquelle sichert. Die Lichtquellen werden dem Schirme so lange genähert oder von demselben entfernt, bis beide Schirmhälften gleich stark beleuchtet sind. Ist dies erreicht, so verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadrate der Entfernungen der Lichtquellen vom Schirme:

$$L_1 : L_2 = (L_1\,C)^2 : (L_2\,D)^2$$

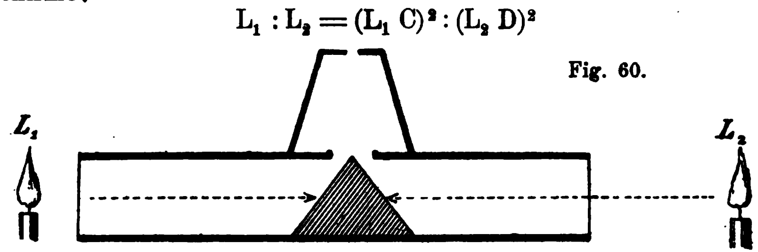


Fig. 60.

2. Das Photometer von Ritchie (Fig. 60) beruht auf demselben Prinzipe wie das vorige, doch ist statt des geraden

*) Potter empfiehlt statt des undurchsichtigen einen transparenten Schirm.

Schirmes ein Prisma mit weißen Seitenflächen angebracht, das von beiden Seiten durch die zu vergleichenden Lichtquellen beleuchtet wird.

3. Sehr häufig verwendet, wenn auch weniger genau als die vorigen, ist das **Photometer von Rumford** (Fig. 61). Es vergleicht die Stärke des Schattens, den ein von zwei Lichtquellen beleuchteter Stab auf einen Schirm wirft.

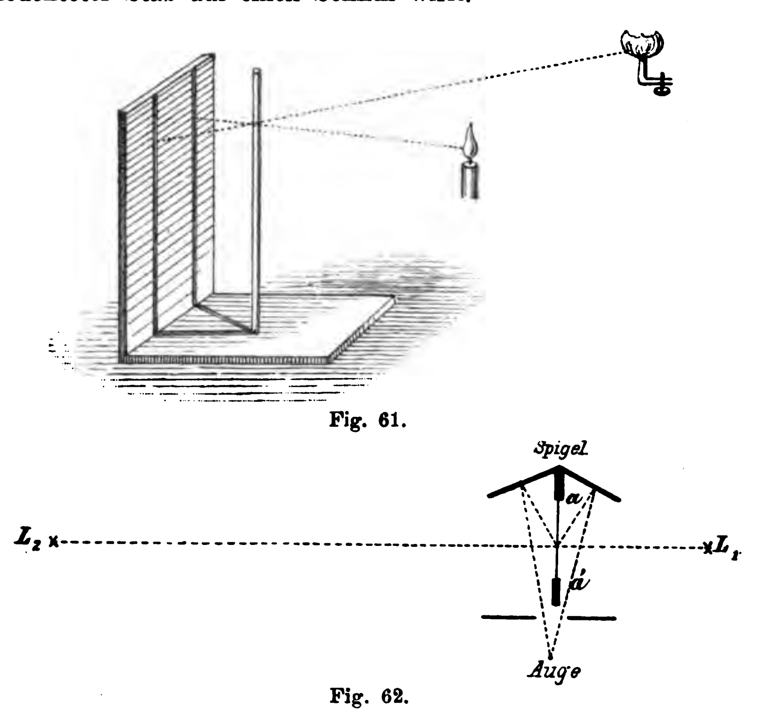


Fig. 61.

Fig. 62.

4. Wohl das verbreitetste Photometer ist das von **Bunsen** (Fig. 62), bei welchem zwei Lichtquellen einen Papierschirm, der durch einen Fettfleck an einer begrenzten Stelle durchscheinend gemacht wird, von beiden Seiten beleuchten. Um den Schirm von beiden Seiten gleichzeitig beobachten zu können, hat **Rüdorff** hinter demselben zwei geneigte Spiegel angebracht. Man kann aber auch, um die beiden Schirmbilder einander möglichst nahe zu bringen, brechende Prismen benützen. Der Gedanke, der diesem Photometer zu Grunde liegt, ist folgender: Betrachtet man einen auf einem Papierschirm befindlichen Fettfleck bei durchfallendem Lichte, so erscheint er hell auf dunklem Grunde, während er bei auffallendem Lichte dunkel auf hellem Grunde erscheint. Hienach ließe sich erwarten, daß der Fleck, wenn die Beleuchtung von beiden Seiten,

und zwar gleich stark, erfolgt, gar nicht sichtbar sein werde. Dieser Fall tritt jedoch in Wirklichkeit nicht ein, weil ja das nicht gefettete Papier und der Fettfleck ungleiche Mengen des auffallenden Lichtes absorbieren. Demzufolge erscheint bei gleicher Beleuchtung des Papierschirmes der Fettfleck auf beiden Seiten dunkler als das nicht gefettete Papier. Es bleibt somit nichts anderes übrig, als die Lichtquellen, welche verglichen werden sollen, so lange zu verschieben, bis beide Seiten des Schirmes gleich hell erscheinen. Dies läßt sich hier besonders leicht beurteilen, weil dann auch der Helligkeitsunterschied zwischen nicht gefettetem Papier und Fettfleck auf beiden Seiten gleich groß wird.

Auf zahlreiche andere Konstruktionen von Photometern, welche die Erzielung größerer Genauigkeit bezwecken, wie die Photmeter von Wybamo, Krüß, Hefner-Alteneck, Lummer und Brodhun, Weber, Crova, Abney, Pickering, Sabine, Hähnlein, J. Jolly, Elster, Guthrie, Napoli, Hammerl, Perry und Ayrton, Hopkinson, Voller, Corun, Wild, Wheatstone, Masson, u. a., sowie auf die Spektrophotometrie kann hier nicht eingegangen werden.*)

Unter Glanz einer Lichtquelle versteht man das Verhältnis der von ihr ausgestrahlten Lichtmenge zu ihrer Größe. Allard, der zuerst diesbezügliche Versuche anstellte, fand für die in Leuchttürmen benützten ein- bis sechsdochtigen Öllampen folgende Helligkeit in Carcel pro 1 cm^2 Oberfläche:

Zahl der Dochte	Glanz
1	0·197
2	0·288
3	0·360
4	0·415
5	0·460
6	0·493

Für eine Bogenlampe von 200 Carcel Lichtstärke fand er unter der Annahme, daß die Oberfläche des Lichtbogens 0·7854 cm^2 betrage, den Glanz zu 255 $\frac{\text{Carcel}}{cm^2}$, also 500mal so groß als bei der sechsdochtigen Öllampe, während er die Helligkeit der Sonne zu rund 6000 Carcelbrennern in der Entfernung von 1 m, unter Berücksichtigung der Lichtabsorption in der Atmosphäre aber zu 8200 Carcel ansetzt. Da nun der scheinbare Sonnendurchmesser 32 Minuten beträgt, erscheint die Sonne bei 1 m Bilddistanz als Kugel von 0·6805 cm^2 Oberfläche, so daß 12050 Carcel auf 1 cm^2

*) Eine gute Übersicht findet sich in Muspratts Chemie, 4. Aufl., Bd. 5.

kommt. Der Glanz des Sonnenlichtes ist somit 25.000mal so groß als jener der sechsdochtigen Öllampe.

Voit fand für verschiedene Lichtquellen:

Lichtquelle	Lichtstärke in Kerzen pro 1 cm^2 Oberfläche
Einlochgasbrenner	0·06
Argandbrenner	0·30
Kleiner Siemens-Regenerativbrenner	0·38
Großer " " "	0·60
Elektrische Glühlampe	40·00
" Bogenlampe	484·00

Anderseits fanden Weber und Michalke den relativen Glanz (Flächenhelligkeit) verschiedener Lichtquellen verglichen mit jener der Amylacetatlampe als Einheit, wie folgt:

Amylacetatlampe		1
Sonnenscheibe, außerhalb der Atmosphäre gesehen	grün . .	171700
	rot . . .	64400
Himmel in der Nähe der Sonnenscheibe	grün . .	20·40
	rot . . .	15·75
Albocarbonbrenner, von der Schmalseite aus gesehen	grün . .	10·4
	rot . . .	9·7
Albocarbonbrenner, von der Breitseite aus gesehen	grün . .	1·50
	rot . . .	1·40
Argandbrenner	grün . .	0·895
	rot . . .	0·895
Weißer Karton, 12. Juni 1885, 12 Uhr mittags, von der gesamten Himmelshemisphäre beschienen	grün . .	6·01
	rot . . .	2·17
Schwarzer Sammet, ebenso beschienen	grün . .	0·012
	rot . . .	0·0044
Weißer Karton, auf dem ohne Anstrengung gelesen werden kann	grün . .	0·000318
	rot . . .	0·000318

Übungsthemen:

Übungen mit verschiedenen Photometern, Leuchtstoffen und Brennern.

Studium verschiedener Einflüsse auf die Leuchtkraft.

V. Kapitel.

Leuchtgasfabrikation: Trockene Destillation der Steinkohlen.

Das gewöhnliche Leuchtgas wird bekanntlich durch trockene Destillation von Steinkohlen gewonnen. Seine Zusammensetzung und damit seine Leuchtkraft ist natürlich je nach der Art der hiebei verwendeten Kohle verschieden. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, dort, wo es sich (wie gewöhnlich) um Herstellung eines Gases von bestimmtem Leuchtvermögen handelt, bei der Leuchtgaserzeugung zwei oder mehrere Kohlensorten zu verwenden.

Die bei der Leuchtgasfabrikation verwendeten Kohlen (fette Steinkohlen mit langer und mit kurzer Flamme, Kannelkohle, Bogheadkohle und petroleumartige Stoffe*) werden in zwei Gruppen geteilt:

a) gewöhnliche Gaskohlen, die neben großen Mengen einer guten Koke ein Gas von 16 bis 18 Kerzen Leuchtkraft liefern, und

b) Zusatzkohlen, die bedeutende Mengen Gas von großer Leuchtkraft, aber wenig und schlechte Koke liefern und zur Verbesserung der Gasqualität den ersteren in geringer Menge zugesetzt werden (Kannel- und Bogheadkohlen).

Nach den Versuchen von Henry Sainte-Claire-Deville ist für die Beurteilung einer Kohle zur Leuchtgasfabrikation hauptsächlich der Sauerstoffgehalt der Kohlensubstanz maßgebend. Er unterscheidet hienach folgende fünf Typen:

Typus	Sauerstoffgehalt der Kohlensubstanz
I	5 bis 6·5%
II	6·5 „ 7·5%
III	7·5 „ 9 %
IV	9 „ 11 %
V	11 „ 12 %

Die aus seinen Versuchen berechneten Mittelwerte für diese fünf Typen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Typus	I	II	III	IV	V
Zusammensetzung der Rohkohle.					
Kohlenstoff	78·47%	78·48%	76·85%	72·93%	67·86%
Wasserstoff	4·49%	4·85%	4·83%	4·84%	4·69%
Sauerstoff und Stickstoff	5·83%	6·91%	7·80%	9·71%	10·55%
Hygroskopisches Wasser	2·17%	2·70%	3·31%	4·34%	6·17%
Asche	9·04%	7·06%	7·21%	8·13%	10·73%
Gehalt an Kohlensubstanz	100·00%	100·00%	100·00%	100·00%	100·00%
(n. Abzug v. Wasser u. Asche)	88·79%	90·24%	89·48%	87·48%	83·10%

*) Siehe Technologie der Energien, I., 1.

Typus	I	II	III	IV	V
Zusammensetzung der Kohlensubstanz:					
Kohlenstoff	88·38%	86·97%	85·89%	83·37%	81·66%
Wasserstoff	5·06%	5·37%	5·40%	5·53%	5·64%
Sauerstoff	5·56%	6·66%	7·71%	10·10%	11·70%
Stickstoff*)	1·00%	1·00%	1·00%	1·00%	1·00%
Summe . . .	100·00%	100·00%	100·00%	100·00%	100·00%
Schwefelgehalt	0·77%	1·06%	1·18%	1·02%	1·04%
Verkokungsprobe:					
Flüchtige Bestandteile der Rohkohle	26·82%	31·59%	33·80%	37·34%	39·27%
Koke aus der Rohkohle.	73·18%	68·41%	66·20%	62·66%	60·73%
Flüchtige Bestandteile der Kohlensubstanz .	29·48%	33·88%	36·42%	40·66%	43·99%
Durch Vergasung von 100 *kg* Kohle wurden erhalten:					
Gas	30·16 m^3	31·01 m^3	30·64 m^3	29·72 m^3	27·44 m^3
Koke	1·970 *hl*	1·966 *hl*	1·778 *hl*	1·696 *hl*	1·627 *hl*
Gewicht von 1 *hl* Koke	36·3 *kg*	34·4 *kg*	36·5 *kg*	35·9 *kg*	35·7 *kg*
Gas	13·70 *kg*	15·08 *kg*	15·81 *kg*	16·95 *kg*	17·00 *kg*
Koke	71·48 „	67·63 „	64·90 „	60·88 „	48·00 „
Kokeabfall (Staub) . . .	6·33 „	7·07 „	7·41 „	8·09 „	9·56 „
Teer	3·90 „	4·65 „	5·08 „	5·48 „	5·58 „
Ammoniakwasser . . .	4·59 „	5·57 „	6·80 „	8·60 „	9·86 „
Von der gesamten Gasausbeute wurden gewonnen:					
In der 1. Stunde . . .	24·9%	25·0%	24·7%	24·1%	23·4%
„ „ 2. „	29·9%	28·4%	29·2%	29·6%	26·9%
„ „ 3. „	28·8%	28·6%	29·8%	29·4%	29·0%
„ „ 4. „	16·4%	18·0%	16·3%	16·9%	20·7%
Temperatur des Ofens .	1327°	1328°	1312°	1282°	1223°
Zusammensetzung des Gases:					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Kohlensäure	1·47	1·58	1·72	2·79	3·13
Kohlenoxyd	6·68	7·19	8·21	9·86	11·93
Wasserstoff	54·21	52·79	50·10	45·45	42·46
Methan und Stickstoff .	34·37	34·43	35·03	36·42	37·14
Benzol**)	0·79	0·99	0·96	1·04	0·88
Schwere Kohlenwasserstoffe***)	2·48	3·02	3·98	4·44	4·66
Gesamtmenge d. schweren Kohlenwasserstoffe . .	3·27 Vol.%	4·01 Vol.%	4·94 Vol.%	5·48 Vol.%	5·54 Vol.%
Benzol in 1 m^3 Gas . .	29·67 *g*	37·02 *g*	35·96 *g*	38·94 *g*	33·02 *g*
Spez. Gewicht des Gases	0·352	0·376	0·399	0·441	0·482
Leuchtkraft des Gases (Gasverbr. für 1 Carcel)	132·1 L	111·7 L	103·8 L	102·1 L	101·8 L
Lichtmenge (Carcel) aus 100 *kg* Kohle	227 c	278 c	295 c	291 c	269 c

*) Da derselbe wenig verschieden ist, wurde er zu 1% angenommen. — **) Bei — 70° kondensierbar. — ***) Nicht kondensierbar.

Nach dieser Tabelle wächst der Feuchtigkeitsgehalt*) dieser Kohlen mit ihrem Sauerstoffgehalte. Mit diesem wächst auch die Gesamtmenge der flüchtigen Bestandteile, der Teer, das Gaswasser und das Leuchtgas (letzteres dem Gewichte nach). Hingegen sinkt mit wachsendem Sauerstoffgehalte die Gasausbeute dem Volumen nach**) und das Kokeausbringen (sowohl dem Gewichte, als dem Volumen nach). Während die Gesamtmenge an schweren Kohlenwasserstoffen mit dem Sauerstoffgehalte der Rohkohle wächst, bleibt der Benzolgehalt (ca. 1%) ziemlich konstant. Dementsprechend wächst auch die Leuchtkraft des Gases mit dem Sauerstoffgehalte.

Typus III umfaßt die besten Gaskohlen, Typus I und II geben gute Koke, aber schwach leuchtende Gase, Typus V (Zusatzkohlen) gibt leuchtkräftiges Gas, aber schlechte Koke.

Ganz ähnliche Resultate lieferten auch die im folgenden zusammengestellten Untersuchungen Bunte's.

Kohlensorte	Westfälische Kohle (Konsolidation)	Saarkohle (Steinitz I)	Böhmische Schwarzkohle (Turn und Taxis)	Sächsische Kohle (Bürgergewerkschaft Zwickau)	Plattenkohle (Pankrazzeche, Pilsen)
Zusammensetzung der Rohkohle:					
Kohlenstoff	78·94	77·18	71·97	68·75	67·41
Wasserstoff	5·22	4·97	5·36	4·91	5·98
Sauerstoff (+ Stickstoff + Schwefel)	7·59	9·27	10·18	11·05	8·87
Wasser	1·64	2·00	5·61	7·79	3·33
Asche	6·62	6·48	6·88	7·50	14·43
Gehalt der Rohkohle an Kohlensubstanz	91·74	91·52	87·51	84·71	82·25
Zusammensetzung der Kohlensubstanz:					
Kohlenstoff	86·04	84·44	82·24	81·16	81·95
Wasserstoff	5·69	5·43	6·12	5·80	7·27
Sauerstoff (+ Stickstoff + Schwefel)	8·27	10·13	11·64	13·04	10·78
100 *kg* Kohle ergaben bei der Vergasung m^3 Gas	30·33	30·18	28·47	25·46	30·38
kg Gas	16·95	17·71	18·52	15·81	25·72
„ Koke	71·4	68·3	63·3	62·7	56·3
„ Teer	4·09	5·33	5·79	5·22	8·81
„ Gaswasser	4·44	6·90	9·06	11·89	6·45
„ Verlust	3·12	1·76	3·33	4·38	2·72

*) ihre Hygroskopizität.

**) Weil das spezifische Gewicht des Gases mit dem Sauerstoffgehalte steigt.

Kohlensorte	Westfälische Kohle (Konsolidation)	Saarkohle (Steinitz)	Böhmische Schwarzkohle (Turn und Taxis)	Sächsische Kohle (Bürgergewerkschaft Zwickau)	Plattenkohle (Pankrazzeche, Pilsen)
Zusammensetzung des Gases:					
Kohlensäure	1·2	2·0	3·0	2·2	3·2
Kohlenoxyd	7·2	8·6	10·0	9·5	8·3
Wasserstoff	48·9	45·2	45·2	45·3	39·6
Methan	35·8	35·0	33·0	35·9	37·1
Schwere Kohlenwasserstoffe	3·2	4·4	4·4	4·0	9·9
Stickstoff	3·7	4·8	4·4	3·1	1·9
Leuchtkraft des Gases in Vereinskerzen bei 127·5 *l* Gasverbrauch im Schnittbrenner	11·15	10·27	10·20	10·59	18·17
Ofentemperatur ° C . .	1360 bis 1385	1205 bis 1290	1240 bis 1350	1180 bis 1240	1180 bis 1350

Um einen allgemeinen Überblick über die Abhängigkeit der Leuchtgaszusammensetzung von jener des verwendeten Brennstoffes zu geben, möge die folgende Zusammenstellung*) mitgeteilt werden:

Art des Gases	schwere Kohlenwasserstoffe	Methan	Kohlenoxyd	Wasserstoff	Kohlensäure	Stickstoff	spezifisches Gewicht	Analytiker
Holzgas:								
Holzgas	7·70	9·45	61·79	18·43	2·21	0·42	—	Pettenkofer
„ rohes . .	7·93	25·32	28·21	13·53	25·01	—	—	
„ gereinigtes	10·57	33·76	37·62	18·05	—	—	—	
Buchenholzgas .	6·50	27·29	41·94	24·27	—	—	—	Reißig
Birkenholzgas. .	8·08	22·64	35·99	33·29	—	—	—	
Tannenholzgas .	8·45	22·40	38·25	30·99	—	—	—	
Torfgas:								
Torfgas	9·52	42·65	20·33	27·50	—	—	—	Reißig
„ .	13·16	33·00	18·34	35·18	—	0·32	—	
Gewöhnliche Kohlen:								
Newcastle Pelton	3·87	32·87	12·89	50·05	0·32	—	0·4152	Frankland
„ „	3·05	41·50	7·32	47·60	0·53	—	0·4082	
„ „	3·56	35·28	7·40	51·24	0·28	2·24	0·3761	
„ „	3·53	35·25	8·95	51·81	—	0·46	0·3916	
Kannelkohlen:								
Hulton	5·50	40·12	8·23	45·74	0·41	—	0·4353	Frankland
Wigan	10·81	41·99	10·07	35·94	1·19	—	0·5186	
Newcastle . . .	9·68	41·38	15·64	33·30	—	—	0·5669	
Methyl	14·48	38·75	13·40	33·32	0·05	—	0·5462	
Newcastle . .	13·06	51·20	7·85	25·82	0·13	1·94	0·6009	
Les mahago . .	16·31	42·01	14·18	26·84	0·66	—	0·6649	
Boghead	24·50	58·38	6·58	10·54	—	—	0·6941	

*) Muspratt, Chemie, 4. Aufl., Bd. 5, p. 290.

Art des Gases	schwere Kohlen-wasserstoffe	Methan	Kohlen-oxyd	Wasser-stoff	Kohlen-säure	Sticks-stoff	spezifisches Gewicht	Analitiker
Petroleumgas:								
Petroleumgas . .	31·60	45·70	—	32·70	—	—	—	Bolley
Petroleumgas, amerik. ungerein.	26·48	40·50	17·07	12·75	3·01	0·22	—	Siber-schmidt
Petroleumgas, amerik. gereinigt	27·18	41·31	17·47	13·26	—	0·52	—	Siber-schmidt
Schieferölgas . .	25·30	64·80	6·65	3·05	0·20	Spur	—	Reißig

Während bei den gewöhnlichen Kohlen der Wasserstoffgehalt des Leuchtgases gegenüber den kohlenstoffhaltigen Gasen weitaus überwiegt, tritt bei wasserstoff- und sauerstoffreichen Rohmaterialien das entgegengesetzte Verhältnis ein. Namentlich die schweren Kohlenwasserstoffe, welche die Leuchtkraft des Gases bedingen, treten bei letzteren stark vermehrt auf.

Wie schon aus dem Vorstehenden ersichtlich, ist die Zusammensetzung des Leuchtgases im allgemeinen sowohl, als auch jene des Steinkohlenleuchtgases im besonderen, ziemlich verschieden. Es wird sich später Gelegenheit ergeben, hierauf noch näher einzugehen, doch wollen wir hier nur die Zusammensetzung des Pariser und Londoner Leuchtgases als Beispiele anführen.

Leuchtgas von	Paris	London
Kohlensäure	1·72 Vol. %	0 %
Kohlenoxyd	8·21 „ %	6 %
Wasserstoff	49 „ %	47·9%
Methan	33·51 „ %	33·3%
gesättigte Kohlenwasserstoffe .	0 „ %	7·9%
Benzol	1·06 „ %	0·9%
ungesättigte Kohlenwasserstoffe	4·4 „ %	3·5%

Nach den Untersuchungen von Berthelot bestehen die in 100 Volumen des Gases enthaltenen ungesättigten Kohlenwasserstoffe aus

C_2H_2	0·1%
C_2H_4	0·2%
C_4H_2	0·3%
C_5H_3	0·4%
C_3H_2	0·8%
Verschiedene Kohlenwasserstoffe	0·9%
Summe	2·7%

β) Aromatische Kohlenwasserstoffe:

Reihe C_nH_{2n-6}:	Benzol, C_6H_6
	Toluol, C_7H_8
	Ortho-, Meta- und Para-Xylol, C_8H_{10}
	Äthylbenzol, C_8H_{10}
	Trimethylbenzol (Pseudocumol, Mesitylen, Hemimellithol), C_9H_{12}
	Durol, $C_{10}H_{14}$
Reihe C_nH_{2n}:	Aromatische Additionsprodukte der Benzole: Naphtene.
Reihe C_nH_{2n-8}:	Styrol, C_8H_8
Reihe C_nH_{2n-10}:	Inden, C_9H_8
	Acenaphten, $C_{10}H_{10}$
Reihe C_nH_{2n-12}:	Naphtalin, $C_{10}H_8$
	Methylnaphtalin, $C_{11}H_{10}$
	Dimethylnaphtalin, $C_{12}H_{12}$
Reihe C_nH_{2n-14}:	Diphenyl, $C_{12}H_{10}$
	Methyldiphenyl, $C_{13}H_{12}$
Reihe C_nH_{2n-16}:	Fluoren, $C_{13}H_{10}$
Reihe C_nH_{2n-18}:	Anthracen und Phenanthren, $C_{14}H_{10}$
	Methylanthracen, $C_{15}H_{12}$
	Pseudoanthracen, $C_{16}H_{12}$
	Synanthren, $C_{14}H_{10}$
Diverse:	Fluoranthen, $C_{15}H_{10}$
	Pyren, $C_{16}H_{10}$
	Chrysen, $C_{18}H_{12}$
	Reten, $C_{18}H_{18}$
	Parachrysen, $C_{22}H_{24}$
	Benzerythren (Triphenylbenzol) $C_{24}H_{18}$
	Terpen, $C_{10}H_{16}$

b) Andere neutrale Körper:

Wasser, H_2O
Äthylalkohol, C_2H_5OH (?)
Aceton, C_3H_6O (?)
Methyl-Aethylketon, C_4H_8O (?)
Cumaron, C_8H_6O
Schwefelkohlenstoff, CS_2
Mercaptane (wahrscheinlich)
Thiophen, C_4H_4S
(Methylthiophen) Thiotolen, C_5H_6S
Thioxen (Dimethylthiophen) C_6H_8S
Acetonitril (Cyanmethyl) C_2H_3N

Methylisocyanür, C_2H_3N
Äthylisocyanür, C_3H_5N
Benzonitril, C_7H_5N
Phenylcarbazol; $C_{18}H_9N$
Phenyl-Naphthylkarbazol, $C_{16}H_{11}N$
Kohlenflugstaub.

2. Säuren: Schwefelwasserstoff, H_2S
Kohlensäure, CO_2
Cyanwasserstoff, CNH
Essigsäure, $C_2H_4O_2$
Benzoesäure, $C_7H_6O_2$
Phenol (Carbolsäure) C_6H_6O
Meta-, Ortho- und Para-Kresol, C_7H_8O
Xylenol, $C_8H_{10}O$
Naphtol, $C_{10}H_8O$
Anthrol und Phenanthrol, $C_{14}H_{10}O$
α-, β- und γ-Pyrokresol, $C_{15}H_{17}O$.

3. Basen: Ammoniak, NH_3
Anilin, C_6H_7N
Pyrrol, C_4H_5N
Pyridin, C_5H_5N
α-, β- und γ-Pikolin, C_6H_7N
Lutidin, C_7H_9N
Collidin, $C_8H_{11}N$
Parvolin, $C_9H_{13}N$
Coridin, $C_{10}H_{15}N$
Rubidin, $C_{11}H_{17}N$
Viridin, $C_{12}H_{19}N$
Chinolin, C_9H_7N
Chinaldin, $C_{10}H_9N$
Iridolin, $C_{10}H_9N$
Cryptidin, $C_{11}H_{11}N$
Acridin, $C_{13}H_9N$.

III. Leuchtgas:

1. Leuchtende Bestandteile (Lichtgeber, schwere Kohlenwasserstoffe):

a) Reihe C_nH_{2n+2}: Äthan, C_2H_6 und höhere Homologen
b) Reihe C_nH_{2n}: Äthylen, C_2H_4
Propylen, C_3H_6
Butylen, C_4H_8
c) Reihe C_nH_{2n-2}: Acetylen, C_2H_2
Allylen, C_3H_4

Crotonylen, C_4H_6
Penten, C_5H_3
d) Reihe C_nH_{2n-6}: Benzol, C_6H_6
Toluol, C_7H_8 und Homologe
e) verschiedene: Styrol, C_8H_8
Naphtalin, $C_{10}H_8$
Tiophen, C_4H_4S

2. Lichtträger (verdünnende Bestandteile):
Wasserstoff, H_2
Methan, CH_4
Kohlenoxyd, CO

3. Verunreinigende Bestandteile:
Kohlensäure, CO_2
Ammoniak, NH_3
Cyanwasserstoff, CNH
Cyanmethyl, C_2H_3N
Schwefelwasserstoff, H_2S
Schwefelkohlenstoff, CS_2
Geschwefelte Kohlenwasserstoffe
Phenylsenföl, C_6H_5CNS
Kohlenoxysulfid, COS
Stickstoff, N_2

Beim Erhitzen beginnt die Steinkohle bei 300° C zu sintern, die Teerdestillation beginnt in der Nähe von 400° C, die Gasentwicklung zwischen 500 und 600° C, und zwischen 800 und 900° C ist die Destillation beendet.

Mit der Destillationstemperatur steigt, bis zu einer gewissen Grenze, auch die Menge und Qualität des gewonnenen Gases. So erhält man z. B. von 1000 *kg* Steinkohlen:

bei	dunkler Rotglut (700° C)		heller Rotglut (900° C)	
Gas	19·7 m^3		28·8 m^3	
Teer	8·78 *kg*		4·94 *kg*	
Benzol (Gas)	0·69 „	0·86 *kg*	1·12 „	1·17 *kg*
Toluiden (Teer)	0·19 „		0·05 „	

Steigt jedoch die Temperatur zu hoch, so zerfallen die schweren Kohlenwasserstoffe, welche die Leuchtkraft des Gases bedingen, wodurch allerdings das produzierte Gasvolum vergrößert, die Qualität desselben aber verschlechtert wird.*) Überdies ist eine zu hohe Destillationstemperatur auch deshalb überflüssig, weil die trockene Destillation, ähnlich wie das Sieden, an eine ziemlich bestimmte Temperatur gebunden ist.

*) Siehe auch Technol. d. Energ., I., 1, p. 245.

Ältere Untersuchungen von L. T. Wright*) ergaben mit Kohle von Newcastle:

Vergasungstemperatur	Dunkelrotglut	Hitze gesteigert	noch mehr gesteigert	helle Orangeglut
Gasausbeute pro 1 *t* Kohle in cbf. engl.	8250	9692	10821	12006
Gasausbeute pro 1 *t* Kohle in m^3	333·6	274·5	306·4	339·5
Leuchtkraft in engl. Kerzen bei 5 cbf. Konsum in 1^h	20·5	17·8	16·75	15·60
Leuchtkraft pro 1 *t* Kohlen in Kerzen	33950	34510	36140	37460
Zusammensetzung des Gases in Vol. %				
Wasserstoff	38·09	43·77	n. best.	48·02
Kohlenoxyd	8·72	12·50	„ „	13·96
Methan	42·72	54·50	„ „	30·70
Schwere Kohlenwasserstoffe	7·55	5·83	„ „	4·51
Stickstoff	2·92	3·40	„ „	2·81

Spätere Versuche von Wright**) ergaben für von I bis V steigende Destillationstemperaturen:***)

Versuchsdaten	I	II	III	IV	V
Gasausbeute pro 1 *t* Kohle, m^3	186·88	202·78	250·64	286·18	329·49
Spezifisches Gewicht des Teeres	1·086	1·102	1·140	1·154	1·206
Zusammensetzung des Teeres in %.					
Ammoniakwasser	1·20	1·03	1·04	1·05	0·383
Rohnaphta	9·17	9·05	3·73	3·45	0·995
Leichte Öle	10·50	7·46	4·47	2·59	0·567
Kreosot	26·45	25·83	27·29	27·33	19·440
Anthrazenöl	20·32	15·57	18·13	13·77	12·280
Pech	28·89	36·80	41·80	47·67	64·080

*) Journ. d. Gasbeleuchtung, 1884, p. 298.

**) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1889, p. 201, siehe auch Technol. d. Energ. I., 1, p. 245.

***) Dieselben wurden nicht näher bestimmt.

Mit der Dauer der Destillation verlangsamt sich die Gasentwicklung immer mehr und mehr; so erhielt man bei der Pariser Gasgesellschaft bei einer Destillationstemperatur von 1000° C:

Nach	Gasvolum in %	Leuchtkraft in Carcel (105 Liter-Brenner)
0^h	0	0
1^h	17	1·15
2^h	30	0·90
3^h	27	0·30
4^h	20	0·10
5^h	6	0·04
6^h	0	0

N. H. Schilling erhielt unter anderem bei verschiedenen Kohlensorten folgende Gasausbeuten:

Kohlenart	Vol. % der Gesamt-Gasausbeute nach einer Destillationsdauer von				
	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h
Westfälische Kohle, Hibernia Flöz 4	33·48	23·72	20·09	16·79	5·92
Saarkohle, Heinitz	36·58	29·42	20·24	12·67	1·09
Sächsische Kohle, Bürgergewerkschaft Zwickau	34·85	36·59	23·86	4·70	—
Schlesische Kohle, Glückhilfgrube	37·09	30·21	20·97	10·48	1·25
Böhmische Kohle, Plattenkohle	35·23	33·93	23·28	7·56	—
Engl. Kohle, Old Pelton Main	26·45	20·09	22·68	21·18	9·60
„ „ Lesmahago Cannel	42·00	35·30	19·88	3·82	—
„ „ Boghead	39·47	39·31	18·50	2·72	—

Hieraus geht hervor, daß es sich nicht empfiehlt länger als 4 Stunden zu destillieren. In kleineren Gasanstalten, wo man mit niederen Temperaturen arbeitet, kann die Destillationsdauer jedoch auf 6 Stunden steigen. In allen Fällen wird dieselbe jedoch so bemessen, daß in 24 Stunden eine ganze Zahl von Destillationsperioden fällt. Hiernach wählt man eine Destillationsdauer von 4, 4·8 oder 6 Stunden.

Ähnlich, wie die Gasausbeute, ändert sich mit der Destillationsdauer auch die Menge und Zusammensetzung von Gaswasser und Teer. So fand Bunte:*)

*) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1886, p. 595.

Bezeichnung der Kohle	Westfälische Kohle	Saarkohle	Böhmische Schwarzkohle	Zwickauer Kohle	Plattenkohle
Ausbeute an Teer . . .	4·09%	5·33%	5·79%	5·22%	8·81%
„ „ Gaswasser	4·44%	6·90%	9·06%	11·89%	6·45%
Summe . .	8·53%	12·23%	14·85%	17·11%	15·26%
Temperatur der Steigröhren am:					
Ende der 1. Viertelstunde	141° C	177° C	212° C	214° C	221° C
„ „ 2. „	135° „	176° „	205° „	203° „	218° „
„ „ 4. „	127° „	163° „	184° „	187° „	200° „
„ „ 8. „	98° „	118° „	141° „	139° „	162° „
„ „ 12. „	76° „	90° „	90° „	102° „	106° „
„ „ 16. „	61° „	72° „	53° „	72° „	60° „
Ofentemperatur . .	1190° C	1200° C	1200° C	1240° C	1240° C

Die Änderung der Temperatur der Steigröhren entspricht den Änderungen in den Mengen von kondensiertem Wasser- und Teerdampf.

Wie sich die Zusammensetzung des Gases mit der Destillationsdauer ändert, geht aus den nachfolgenden Unterssuchungen Bunte's über die Zusammensetzung des gereinigten Gases hervor.

A. Westfälische Kohle (Konsolidation).

Beginn der	2.	4.	9.	13.	16.	Mischprobe
	Viertelstunde					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Kohlensäure . . .	1·8	2·0	1·1	0·7	0·7	1·2
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	6·0	4·2	2·4	1·4	1·2	3·2
Kohlenoxyd . . .	8·3	7·4	6·8	6·6	6·7	7·2
Wasserstoff . . .	37·1	48·9	53·5	58·2	61·1	48·9
Methan	45·4	36·9	34·2	29·6	27·6	35·8
Stickstoff	1·4	0·6	2·0	3·5	2·7	3·7

B. Saarkohle (Heinitz I).

Beginn der	1.	5.	9.	13.	16.	Mischprobe
	Viertelstunde					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol %
Kohlensäure . . .	4·0	3·4	2·4	2·0	1·8	2·0
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	9·4	5·6	4·3	2·4	1·7	4·4
Kohlenoxyd . . .	9·4	8·3	8·1	8·2	8·8	8·6
Wasserstoff . . .	28·3	42·6	49·0	56·6	55·3	45·2
Methan	46·6	35·0	31·7	28·7	27·2	35·0
Stickstoff	2·3	5·1	4·9	2·1	5·2	4·8

C. Böhmische Kohle (Littitz bei Pilsen).

Beginn der	2.	5.	9.	13.	16.	Mischprobe
	Viertelstunde					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Kohlensäure . . .	3·8	3·0	1·4	1·1	1·0	3·0
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	8·8	5·0	2·1	1·1	0·8	4·4
Kohlenoxyd . . .	11·0	10·3	10·0	9·3	10·9	10·0
Wasserstoff . . .	30·3	43·1	50·3	60·3	58·9	45·2
Methan	41·4	35·8	30·2	23·4	20·9	33·0
Stickstoff	4·7	2·8	6·0	4·8	7·5	4·4

D. Sächsische Kohle (Bürgergewerkschaft Zwickau).

Beginn der	2.	5.	9.	13.	16.	Mischprobe
	Viertelstunde					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Kohlensäure . . .	3·4	3·0	1·9	1·2	0·8	2·2
schwere Kohlenwasserstoffe . .	8·7	5·5	2·5	1·3	0·5	4·0
Kohlenoxyd . . .	10·5	10·2	9·3	9·0	8·7	9·5
Wasserstoff . . .	28·6	42·1	50·9	56·6	63·3	45·3
Methan	46·9	37·1	32·4	28·7	23·6	35·9
Stickstoff	1·9	2·1	3·0	3·2	3·1	3·1

E. Böhmische Plattenkohle.

Beginn der	3.	5.	9.	13.	16.	Mischprobe
	Viertelstunde					
	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Kohlensäure . .	4·4	4·0	3·1	1·9	1·1	3·2
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	15·2	11·8	6·0	2·4	1·4	9·9
Kohlenoxyd . . .	7·5	7·6	6·9	10·7	11·9	8·3
Wasserstoff . . .	23 3	31·3	44·9	55·9	54·6	39·6
Methan	46·4	45·1	36·9	24·5	24·3	37·1
Stickstoff . . .	3·2	0·2	2·2	4·6	6·7	1·9

Weitere Versuche von Bunte ergaben für den Kohlensäure- und Schwefelwasserstoffgehalt des rohen Leuchtgases zu verschiedenen Zeiten folgende Werte:

Kohlensäuregehalt des Rohgases zu Beginn der	Westfälische Kohle	Saarkohle	Böhmische Schwarzkohle	Plattenkohle
1. Viertelstunde	4·0	4·5	6·2	5·6
2. "	3·6	4·3	6·2	5·7
3. "	2·8	4·4	6·2	5·6
4. "	2·4	3·2	5·4	6·0
5. "	3·2	3·4	4·9	5·2
6. "	2·2	2·5	4·5	5·0
7. "	1·8	2·8	4·3	5·4
8. "	1·5	2·4	3·8	4 7
9. "	2·8	1·9	3·4	4·4
10. "	2·0	1·4	3·8	3·6
11. "	2·1	1·4	2·8	2·8
12. "	1·4	1·8	2·2	2·7
13. "	1·4	1·8	2·0	1·7
14. "	1·5	1·8	2·0	1·7
15. "	1·8	1·7	1·4	1·5
16. "	1·4	1·7	1·6	1·5

Schwefelwasserstoffgehalt der Rohgase nach	Saarkohle, Heinitz I (Gaskohle)	Böhmische Braunkohle	Englische Tyne Boghead
		(Zusatzkohle)	
5 Minuten	1·19	3·75	0·74
15 „	0·98	—	0·90
35 „	1·03	3·23	1·10
50 „	1·01	3·00	0·70
65 „	0·73	2·02	0·85
80 „	0·81	1·50	0·49
100 „	0·62	1·95	0·58
115 „	0·80	0·51	0·71
130 „	0·47	0·51	0·68
145 „	0·40	1·00	0·44
160 „	0·38	0·72	0 52
175 „	0·34	0·60	0·38
190 „	0·54	0·63	0·46
205 „	0·38	0·64	0·46
220 „	0·24	0·43	0·40

Nach den Untersuchungen von Deville*) erreicht die Menge der gebildeten fetten, schweren Kohlenwasserstoffe rasch ein Maximum, um dann auch wieder schnell abzunehmen, während die Ausbeute an aromatischen Kohlenwasserstoffen erst nach $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunden ihr Maximum erreicht, dann durch $1^1/_2$ Stunden nahe konstant bleibt und schließlich langsam abnimmt. Fig. 63 zeigt dieses Verhalten im Diagramme.

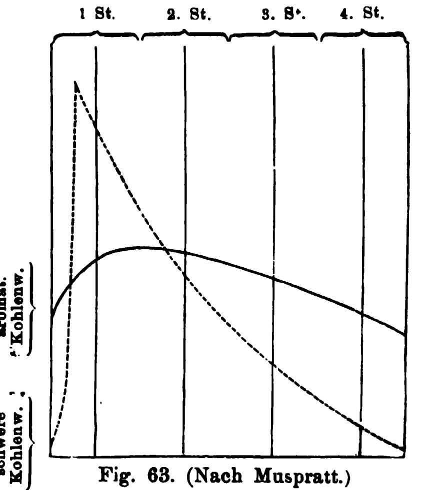


Fig. 63. (Nach Muspratt.)

Der Einfluß von anorganischen Beimengungen wurde schon früher**) besprochen.

Alle Steinkohlen nehmen an der Luft Sauerstoff auf. Sie verlieren hiebei an Backfähigkeit und an Leuchtkraft des daraus erzeugten Gases. Die Kohle soll daher bald möglichst nach der Anlieferung verarbeitet werden. Anderseits macht es die Möglichkeit von Strikes wünschenswert, über größere Kohlenvorräte zu

*) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1889, p. 738.
**) Technolog. d. Energien, I., 1, p. 248.

Uber die zu verschiedenen Zeiten entwickelten Ammoniakmengen geben folgende Versuche Schilling's*) Aufschluß:

Kohlensorte			Westfälische Kohle, Konsolidation	Englische Kohle, Boldow	Schles. Kohle, Königin Louisen-Grube	Böhm. Kohle, Littitz	Sächs. Kohle, Zwickau	Saarkohle, Heinitz I	Pilsener Plattenkohle	Braunkohle, Falkenau
Die wasser- und aschenfreie Kohlensubstanz enthält	N + O	%	7·36	7·29	8·98	10·92	10·92	9·41	9·26	12·07
	N	%	1·64	1·55	1 33	1·55	1·50	1·15	1 81	0 61
	O	%	5·72	5·74	7·65	9·37	9·42	8·26	7·45	11·46
	N	%	1·50	1·45	1·37	1·36	1·20	1·06	1·49	0 52
Auf 100 Teile wasser- u. aschenfreie Kohle kommen	Kokeausbeute	%	71·4	74·2	68·5	63·3	62·7	68·3	56·3	40·5
	N in der Koke	%	1·35	1·37	1·39	1·22	1·37	1·24	1·00	0·58
	also fixer N	%	0·96	1·02	0·95	0 77	0·86	0·85	0·56	0·23
	also flüchtiger N	%	0·54	0·43	0·42	0·59	0·34	0·21	0·93	0·20
Von 100 Teilen N in der Kohle sind	fixer N	%	64	70	69	57	72	80	44	38
	flüchtiger N	%	36	30	31	43	28	20	56	62
100 *kg* Kohle geben — Ammoniak	ohne Kalk	*kg*	0·248	0·189	0·284	0·237	0·094	0·188	0·221	0·129
	mit „	*kg*	0·276	0·247	0·296	0·227	0·173	0 209	0 229	0·126
100 *kg* Kohle geben — Ammoniakstickstoff	ohne „	*kg*	0·204	0·156	0·234	0·195	0·077	0·155	0·182	0·106
	mit „	*kg*	0·226	0·203	0·244	0·186	0·142	0·171	0·188	0·103
100 *kg* Kohle geben — Ammoniakwasser		*kg*	4·44	0·33	5·72	9·06	11·89	6·90	6·45	9·11
100 Teile Stickstoff der Kohle geben Ammoniakstickstoff	ohne „	%	13·6	10·8	17·4	14·2	6·4	14·8	12 4	20·7
	mit „	%	15·2	14·0	17·9	13·8	11·9	16 2	12·7	19·9
Von 100 Teilen flüchtigem N sind Ammoniak-N	ohne „	%	38	36	56	33	23	74	20	37
	mit „	%	42	37	58	32	43	81	20	36
150 *kg* Kohle geben bei der Destillation Gramm NH_3:										
in der 1. halben Stunde			67·94	46·07	48·90	41·59	12·28	31·90	30·18	18·20
„ „ 2. „ „			74·02	51·01	66·95	51·45	18·02	43·60	41·13	25·10
„ „ 3. „ „			69·60	45·61	74·51	58·59	22·85	50·26	50·13	33·06
„ „ 4. „ „			55·33	41·08	69·32	59·05	25·07	43·16	56·63	32·78
„ „ 5. „ „			41·51	34 93	57·47	55·04	18·96	39·29	53·88	37·56
„ „ 6. „ „			32·42	27·88	54·29	43 ·32	19·53	29·78	48·53	32·35
„ „ 7. „ „			21·52	18·76	33·09	30·66	14·12	24·57	33·49	8·69
„ „ 8. „ „			10·75	17·24	19·98	15·87	10·26	19·30	16·05	4·80

*) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1887, p. 661, 775.

verfügen, so daß in der Praxis nur darauf Rücksicht genommen werden kann, daß die vorrätigen Kohlen der Anlieferungszeit entsprechend aufgebraucht werden.

Um abgelagerte Kohlen zu erkennen, empfiehlt Mahler, dieselben mit Kalilauge zu behandeln. Lange an der Luft abgelagerte Kohle gibt eine braungefärbte Lösung, während frische Kohle die Lauge nicht färbt.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Veränderungen schlesische Kohle (in kleinen Stücken) nach sechsmonatigem Liegen an der Luft erleidet.

Steinkohle	C	H_2	O_2	N_2	S	Asche	Summe
frisch	70·0	4·20	9·00	0·60	0·50	15·7	100
nach 6 Monaten	26·4	1·64	4·10	0·32	0·28	15·7	80

Im Anfange*) wird von der Kohle beim Liegen an der Luft Sauerstoff aufgenommen, wodurch sich das Gewicht derselben erhöht, während später Kohlensäure und Wasser abgegeben werden, das Gewicht der Kohle also abnimmt.

Bei einer Kohle von Commentry fand P. Mahler nach Aufnahme des Maximums an Sauerstoff**) folgende Veränderungen***):

Kohle von Commentry	In frischem Zustande	Nach der Sauerstoffaufnahme
Kohlenstoff	85·664%	72·652%
Wasserstoff	5·604%	3·437%
Sauerstoff und Stickstoff	8·732%	23·911%
Verbrennungswärme . .	8400 cal.	6384 cal.

Rascher erfolgt die Sauerstoffabsorption, wenn man die gepulverte trockene Kohle 12—20 Stunden lang an der Luft auf 180—200° C erhitzt. Auf diese Weise erhielt Richter bei sechs Kohlenproben eine Gewichtszunahme um 3·24 bis 4·62%.

Zum Schlusse mögen noch einige Resultate der Gaserzeugung aus verschiedenen Kohlen mitgeteilt werden.

*) Solange die Kohlen noch nicht auf 170—190° C erwärmt sind.

**) Die Kohle hatte sich auf 120° C erhitzt.

***) Nach Abzug von Wasser und Asche.

Durchschnittsergebnisse für die große Praxis (nach N. Schilling*):

Art der Kohlen	1 *hl* Kohle wiegt *kg*	100 *kg* Kohle geben Gas m^3	Kokeausbeute Vol. %	Kokeausbeute Gew. %	1 *hl* Koke wiegt *kg*	Beschaffenheit der Koke
Westfälische Kohlen	80—86	27·0—30·38 28·06	130—140	60—69 65·33	39—42	dicht, groß, beim Lagern 10% Grieß
Saarbrücker Kohlen (Heinitz)	72—80	26·50—29·12 28·04	120—130	57—65 62	36—40	ziemlich dicht, mittelgroß, reichlich 10% Grieß
Niederschlesische Kohlen	82—87	25·0—27·34 26·22	125—135	65—72 68	41—47	porös, ziemlich groß, leicht zerfallend
Oberschlesische Kohlen	76—80	27·4—28·4 27·8	118—122	62—70 67	41—45	dicht, klein, intensive Hitze gebend
Zwickauer Kohlen	77—80	24·9—26·6 25·3	105—115 108	50—60 56	38—42	porös, klein, viel Grieß gebend
Pilsener Schwarzkohle	73—80	24—27 25·8	120—130	50—60 57	33—37	porös, klein, weich, viel Grieß
Pilsener Plattenkohle	65—70	31—34 32·8	95—100	51	33—37	schiefrig, klein, geringer Heizwert
Falkenauer Braunkohle	62—70	31—33·4 32·2	50—55	33	40—45	schiefrig, klein, sehr geringer Heizwert

*) Handb. d. Steinkohlengasbeleuchtung, 3. Aufl., p. 79.

Versuche von S. Schiele.*)

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 l	113 l	150 l		
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg	Konsum				
A. Gaskohlen.													
1. Aus dem Saargebiete:													
Altenwalder Stückkohle ...	68·4	30·0	57·3	7·2	1·10	0·09	36·6	49·3	—	15·3	—	0·418	Kohle 1½ Monate gelagert. Koke: wenig gebacken, schieferhaltig, geben schmierige Schlacke.
Camphausen	68·0	32·8	64·5	8·0	1·3	0·1	38·5	54·3	2·7	13·0	17·0	0·418	Kohle 3 Monate gelagert. Koke: gut und fest.
Dechen, Stückkohle	69·1	29·8	56·2	3·5	1·12	0·05	34·8	62·6	—	17·7	—	0·427	Wie Altenwalder Stückkohle.
Dechen, gemischt	69·2	29·2	56·6	5·2	1·17	0·07	33·5	51·5	—	17·0	—	0·437	Kohle 4 Monate gelagert. Koke: klein, wenig gebacken, fest.
Gemisch aus mehreren Sorten	67·7	29·4	56·1	7·4	1·0	0·10	38·8	49·8	—	16·5	—	0·447	Kohle frisch. Koke: klein, erdig bröcklig, greift die Roste an.
Heinitz I, Stückkohle	71·4	26·0	56·7	3·7	1·14	0·05	35·7	58·3	—	12·0	—	0·414	Kohle frisch. Koke: schön, fest, verschmiert die Roste.
v. d. Heydt	82·3	28·6	41·8	26·2	0·9	0·4	37·7	54·8	0·3	13·7	18·0	0·453	Kohle frisch, erdig, bröcklig. Koke: kleinstückig, weich, schwer verwertbar.
Sulzbach, Knabbelkohle	66·4	30·6	63·2	2·4	1·34	0·04	31·5	40·9	—	15·8	—	0·437	Kohle 14 Tage gelagert. Koke: meist klein, wenig gebacken, schmierige Schlacke.

*) Schilling's Handbuch, 3. Aufl., p. 70.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben Gas	100 kg gaben Koke	100 kg gaben Grieß	1 hl gab Koke	1 hl gab Grieß	1 hl Koke wog	1 hl Grieß wog	Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen, Konsum 50 l	113 l	150 l	Spez. Gewicht des Gases	
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg					
Sulzbach, Stückkohle	68·2	30·4	61·8	0·1	1·24	0·10	34·0	45·5	—	15·0	—	0·428	Koke: klein, rein, fest, schmiert die Roste zu.
2 Aus Sachsen. Brückenberger (Zwickau):													
Pechknorpelkohle	74·9	24·8	46 4	24·0	0·91	0·54	38·2	50·9	—	12·6	—	0·453	Kohle frisch. Koke: gut gebacken, hart, brennt schwer.
Pechnußkohle .	72·5	25·6	54·6	9·2	1·01	0·15	39·2	44·7	—	11·4	—	0·444	Kohle frisch. Koke: groß, fest gebacken, brennt schwer.
3. Aus Westfalen:													
Alma	80·5	26·0	62·6	8·9	1·41	0·13	35·8	57·0	—	14·9	—	0·451	Kohle 4 Monate gelagert. Koke: groß, gebacken, dicht, brennt gut.
Alma	73·6	28·3	67·8	9·5	1·4	0·2	36·3	56·0	4·1	14·5	19·0	0·444	Kohle frisch, viel Grieß. Koke: gut.
Graf Bismarck..	86·0	23·6	47·3	17·4	1·11	0·25	38·0	59·7	—	15·8	—	0·493	Kohle 4 Monate gelagert. Koke: klein, zerfällt leicht, brennt schwer.
Bonifazius	78·8	27·8	64·6	5·6	1·65	0·10	30·8	44·8	—	11·9	—	0·360	Kohle frisch. Koke: groß und fest gebacken, dicht.
Borussia	75·6	30·4	56·6	5·2	1·45	0·07	29·5	54·5	—	17·0	—	0·378	Kohle frisch. Koke: grob, gut gebacken, rein, fest.
Konsolidation ..	78·6	26·8	65·2	4·0	1·43	0·05	35·9	63·2	—	15·9	—	0·406	Kohle frisch. Koke: grob, schön, heizt gut, schlackt viel.
Konsolidation ..	75·5	28·8	56·9	5·2	1·25	0·08	34·3	48·8	—	16·5	—	0·423	Kohle frisch. Koke: gut gebacken, grob, heizt gut.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl wog		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 l	113 l	150 l		
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg	Konsum				
Knsolidation....	82·7	27·4	—	—	—	—	—	—	5·5	12·5	-	0·389	Kohle 8 Tage gelagert. Koke: wie vorstehend.
Konsolidation, Kannelkohle .	77·2	31·6	65·5	4·4	1·33	0·6	37·9	60·9	—	15·1	—	0·389	Kohle frisch. Koke: gut gebacken, hart, heizt vortrefflich.
Dahlbusch.	75·1	28·8	66·4	3·0	1·46	0·9	34·3	48·0	—	13·8	—	0·390	Kohle frisch. Koke: klein, fest, brennt gut.
Dorstfeld.	78·7	26·4	61·9		1·33		36·6		—	15·5	—	0·453	Kohle 14 Tage gelagert. Koke: klein, wenig gebacken, brennt gut, wenig Schlacke.
Dorstfeld.... ..	76·3	26·6	55·0	8·0	1·20	0·10	35·3	59·6	—	15·9	—	0·408	Kohle frisch (Stückkohle). Koke: gut gebacken, brennt gut.
Dorstfeld.......	67·6	31·4	57·3	5·8	1·10	0·08	35·2	49·3	—	15·3	—	0·411	Kohle 3 Wochen gelagert (Stückkohle) Koke: klein, wenig gebacken.
Dorelfeld.......	73·0	29·8	—	—	—	—	—	—	—	17·0	—	0·424	Kohle 1 Monat gelagert. Koke: wie vorher.
Friedrich-Ernestine. ...	78·3	27·2	63·5	6·9	1·34	0·11	37·0	49·5	—	14·5	—	0·446	Kohle frisch, mit vielen Bergmitteln. Koke: gut und groß gebacken, brennt gut.
Germania, Stückkohle...... .	70·4	30·2	66·2	5·5	1·53	0·03	30·4	57·7	—	12·6	—	0·403	Kohle frisch. Koke: fest, grob, brennt gut, schlackt schmierig.
Germania, Grieß.	76·8	28·6	70·2	7·5	1·78	0·11	30·3	51·5	—	14·8	—	0·409	Wie vorstehend.
Hannibal......	76·4	26·0	63·6	7·0	1·35	0·10	36·0	53·6	—	11·6	—	0·408	Kohle 3 Monate gelagert, etwas feucht. Koke: groß und schön, hart, brennt gut.

Kohle	1 *hl* wog	100 *kg* gaben			1 *hl* gab		1 *hl*		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 *l* Konsum	113 *l* Konsum	150 *l* Konsum		
	kg	*kg*	*kg*	*kg*	*hl*	*hl*	*kg*	*kg*					
Hannibal.......	78·4	27·4	56·3	6·3	1·28	0·09	34·5	54·0	—	15·6	—	0·411	Kohle 4 Monate gelagert, stückreich. Koke: mittelgroß, hart, rein.
Hansa	74·6	29·8	63·6	6·2	1·31	0·08	36·1	57·5	—	14·1	—	0·415	Kohle frisch, trocken. Koke: fest, groß, schön, schlackt schmierig.
Hansa Kannelkohle	75·8	28·2	59·5	5·7	1·30	0·08	34·8	52·4	—	13·7	—	0·435	Kohle frisch, stückreich. Koke: wie vorstehend
Harpener Bergwerksverein ..	77·6	30·2	54·1	10·3	1·36	0·17	30·8	53·1	—	15·7	—	0·383	Kohle 3 Monate gelagert. Koke: gut gebacken, groß, dicht, hart.
Hibernia	76·8	26·4	53·6	7·5	1·20	0·10	34·3	55·2	—	14·0	—	0·378	Kohle 2 Monate alt. Koke: gut gebacken, brennt gut, schlackt wenig.
Hibernia	77·1	39·6	53·2	6·4	1·22	0·09	33·7	53·5	—	16·0	—	0·405	Kohle 4 Monate alt. Koke: wie vorstehend.
Holland...	74·8	28·6	62·4	4·2	1·37	0·05	34·1	63·1	—	13·8	—	0·406	Kohle frisch. Koke: wenig gebacken, zerbröckelt leicht.
Hugo.........	78·3	29·5	62·9	5·2	1·3	0·1	36·7	56·8	5·9	19·2	25·6	0·445	Kohle frisch. Koke: fest und gut.
Nordstern	82·6	26·8	54·1	23·3	1·11	0·32	40·3	55·7	—	14·0	—	0·462	Kohle 4 Wochen gelagert. Koke: unrein, brennt und schlackt leicht.
Pluto..	84·5	28·0	70·3	6·2	1·89	0·11	31·5	50·6	—	14·4	—	0·393	Kohle frisch. Koke: groß, schön, brennt gut.
Pluto..........	79·7	32·0	55·8	5·7	1·23	0·08	36·2	56·7	—	13·4	—	0·420	Kohle 14 Tage alt. Koke: groß, fest, brennt rasch ab.

Kohle	1 *hl* wog	100 *kg* gaben			1 *hl* gab		1 *hl*		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 *l*	113 *l*	150 *l*		
	kg	*kg*	*kg*	*kg*	*hl*	*hl*	*kg*	*kg*	Konsum				
Providence	83·5	25·6	66·5	9·7	1·60	0·13	34·8	64·5	—	14·7	—	0·423	Kohle 3 Monate gelagert. Koke: groß, schön, fest, brennt sehr gut.
Prosper	77·8	28·8	75·0	5·0	1·80	0·09	32·6	46·1	—	13·8	—	0·379	Kohle 4 Wochen alt, stückreich. Koke: wie vorstehend.
Rhein-Elbe	75·1	27·2	57·7	5·6	1·25	0·03	34·6	62·7	—	14·8	—	0·419	Kohle frisch. Koke: fest, hart, brennt wenig schlackend.
Wilhelmine-Viktoria......	68·0	29·8	63·2	6·5	1·30	0·08	33·1	58·6	—	14·0	—	0·421	Kohle frisch. Koke: fest, groß, greift die Roststücke an.
Zollverein	66·3	24·8	61·9	4·4	1·25	0·05	32·7	53·9	—	17·5	—	0·438	Kohle 1 Monat alt, etwas feucht. Koke: fest, gut gebacken, rein.
4. Aus Böhmen:													
Littizter Stückkohle	68·9	27·8	61·6	7·2	1·20	0·10	35·3	49·5	—	16·9	—	0·403	Kohle frisch, sehr fest. Koke: locker, bergmittelhaltig, viel Klein.
Miröschauer	73·6	25·0	48·2	9·6	0·98	0·14	36·3	52·0	—	10·2	—	0·450	Kohle frisch, großstückig, trocken. Koke: klein, weich, brennt gut, aber rasch ab.
5. Aus England:													
Dalmacoulter ...	63·4	30·0	51·4	8·1	0·9	0·1	36·9	49·8	3·7	14·6	19·5	0·486	Kohle 8 Monate alt, von der Kannelkohle abgeschlagen. Koke: kleinstückig, sehr gut.
Drumpeller	66·9	31·5	46·9	5·0	0·8	0·1	44·5	47·0	4·3	14·9	20·0	0·420	Kohle 1 Monat alt. Koke: fest, brennt schwer.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 l	113 l	150 l		
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg	Konsum				
B. Zusatzkohlen:													
Kannelkohlen aus Schottland:													
Abrams	62·8	36·7	46·8	5·6	0·8	0·1	37·2	83·0	9·8	27·0	36·0	0·529	Kohle frisch. Koke: schön, fest, gut für Stubenbrand.
Adriehill I	62·0	35·0	43·6	7·8	0·7	0·1	37·7	45·0	10·6	30·0	40·0	0·548	Kohle frisch und 3 Monate alt gemischt. Koke: gut für Stubenbrand.
Arniston	56·7	33·8	46·6		0·77		34·5		9·3	26·0	—	0·543	Kohle frisch, Koke: klein, bröcklig, brennt gut.
Arniston	60·5	31·3	42·1	7·3	0·7	0·9	38·2	46·6	8·1	22·7	30·0	0·534	Kohle 3 Monate gelagert. Koke: kleinstückig, glänzend, brennt gut.
Angenhead-Mean-Lesmahago	63·1	33·5	47·8	5·0	0·8	0·1	38·4	44·0	10·2	25·3	34·7	0·518	Kohle frisch gekommen. Koke: klein, fest, brennt gut.
Balbardei	63·6	36·9	48·9	6·2	0·8	0·1	39·6	55·5	6·5	21·1	28·0	0·460	Kohle 1 Monat alt, gemischt.
Balbardei	64·7	38·9	48·2	5·7	0·8	0·1	39·7	51·5	6·5	21·3	28·0	0·468	Kohle 1 Monat alt, nur Stücke. Koke: klein, hart, gut.
Bellsdyke	61·0	33·1	48·3	4·3	0·8	0·1	35·0	43·7	9·8	27·0	36·0	0·543	Kohle frisch. Koke: kleinstückig, fest, gut
Bellsdyke	56·0	37·0	46·5	0·5	0·8	0·1	34·8	42·5	9·3	21·0	28·0	0·509	Kohle frisch; aber von einem anderen Lieferanten.
Bromfield	56·2	37·0	46·9	4·8	0·8	0·1	34·8	46·7	8·8	22·3	31·0	0·502	Kohle 7 Monate gelagert. Koke: kleinstückig, gut brennend.
Cairntable	62·1	33·6	46·9	10·7	0·71	0·13	41·3	53·2	5·1	16·5	—	0·403	Kohle 2 Monate alt, stückreich. Koke: klein, fest, hart, brennt gut, aber rasch ab.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl wog		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 l	113 l	150 l		
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg	Konsum				
Cairntable	55·3	37·5	33·3	9·8	0·5	0·1	35·4	47·0	9·4	26·0	35·0	0·572	Kohle 5 Monate alt. Koke: wie vorstehend.
Dalmcoulter	60·5	34·8	45·4	10·3	0·69	0·12	39·8	52·2	10·8	30·2	—	0·556	Kohle 1 Monat gelagert. Koke: zur Retortenheizung nur mit anderer Koke gemischt, brauchbar.
Gartleeroad	56·0	36·6	47·1	5·7	0·7	0·1	36·0	55·3	8·0	20·0	27·0	0·514	Kohle 6 Monate lagernd. Koke: kleinstückig, gut brennend.
Glen-Lesmahago.	61·6	34·8	50·9	6·2	0·8	0·1	40·9	53·0	6·9	17·0	23·0	0·524	Kohle frisch. Koke: fest, sehr guter Brennstoff.
Grange	65·0	34·9	60·1	5·8	0·9	0·1	42·3	64·7	7·0	17·9	24·0	0·468	Kohle 8 Monate alt. Koke: wenig backend, brennt gut.
Haywood.......	59·3	30·4	50·6	4·9	0·80	0·06	37·5	45·8	9·0	25·2	—	0·517	Kohle 3 Monate gelagert. Koke: bäckt nicht, viel Asche.
Haywood	—	31·2	—	—	—	—	—	—	10·2	30·0	—	0·493	Beides wie vorstehend.
Lesmahago	57·2	33·8	35·0	12·8	0·63	0·18	25·2	38·4	10·7	30·0	—	0·562	Kohle frisch. Koke: gut.
Lesmahago	59·5	35·2	44·6	8·8	0·68	0·12	26·5	48·8	7·6	20·1	—	0·459	Kohle 7 Monate gelagert. Koke: klein, spröde, heizt gut.
Lesmahago, Duke of Hamilton ..	59·7	34·0	40·6	8·8	0·70	0·10	38·8	50·7	8·4	23·5	—	0·523	Kohle frisch. Koke: nicht gebacken, kleine Stücke.
Lesmahago, Orchard	58·6	34·6	51·0	5·6	0·77	0·06	39·1	55·3	8·3	23·2	—	0·525	Kohle frisch. Koke: nicht gebacken, gut zur Retortenheizung.
Longlee	62·8	33·4	55·1	5·5	1·0	0·1	33·5	45·0	4·7	16·1	21·5	0·487	Kohle 7 Monate gelagert. Koke: klein, nicht gebacken, gut.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben: Gas	100 kg gaben: Koke	100 kg gaben: Grieß	1 hl gab: Koke	1 hl gab: Grieß	1 hl Koke wog	1 hl Grieß wog	Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen, Konsum 50 l	113 l	150 l	Spez. Gewicht des Gases	
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg					
Lothian	56·7	31·6	45·8		0·75		34·6		12·0	33·6	—	0·578	Kohle frisch. Koke: klein, zerbröckelt, brennt gut.
Mill	66·4	32·6	51·2	7·8	0·8	0·1	43·7	62·0	7·9	22·0	30·5	0·504	Kohle kleinstückig, 7 Monate gelagert. Koke: glänzend, schichtig, gut.
Muirkirk	65·7	35·0	46·2	8·7	0·75	0·11	40·5	52·4	4·6	14·5	—	0·565	Kohle frisch, hart, schwer zu zerkleinern. Koke: klein, brennt gut, aber rasch ab.
Muirkirk I	74·5	24·9	52·4	8·2	0·8	0·1	47·4	56·7	11·3	31·6	42·0	0·558	Kohle frisch angekommen. Koke: klein, als Stubenbrand gut.
Muirkirk, andere Sendung	71·0	28·3	50·1	9·0	0·8	0·1	47·0	59·3	12·2	28·3	38·0	0·560	
Newbattle	59·0	34·5	42·5	6·8	0·7	0·1	37·0	37·7	10·8	25·5	34·0	0·547	Kohle 2 Monate gelagert. Koke: kleinstückig, gut.
Niddrie	61·0	31·2	45·0	10·2	0·68	0·12	40·3	51·2	5·8	20·0	—	0·498	Kohle 4 Monate gelagert. Koke: hart, klein, zur Retortenheizung nur mit anderer Koke gemischt brauchbar.
Overton	57·3	34·4	45·8		0·77		31·5		12·4	34·7	—	0·619	Kohle frisch. Koke: klein, zerbröckelt.
Overton	58·1	35·2	—	—	—	—	—	—	10·3	28·8	—	0·558	Kohle abgelagert. Koke: wie vorher.
Overton	59·9	30·6	—	—	—	—	—	—	10·2	28·6	—	0·559	Kohle 5 Monate gelagert. Koke: wie vorher.
Rawyards	66·3	35·0	21·0	9·0	0·73	0·13	38·0	44·5	10·3	23·3	—	0·509	Kohle 6 Monate gelagert. Koke: klein, fest, vortrefflicher Brand.
Rougheraig	60·2	36·6	48·8	4·9	0·8	0·1	39·1	41·5	7·7	19·3	36·0	0·508	Kohle frisch. Koke: feinstückig, gut.
Rougheraig	60·2	37·9	48·4	4·9	0·8	0·1	39·1	41·5	8·0	22·0	30·0	0·489	

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 l	113 l	150 l		
							wog		Konsum				
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg					
Staurigg	63·8	36·9	52·7	5·3	0·8	0·1	41·6	52·7	8·4	19·4	26·0	0·546	Kohle frisch. Koke: kleinstückig, guter Brennstoff.
Trashbush......	64·0	34·7	47·1	8·7	0·8	0·1	30·2	57·5	9·4	26·0	34·0	0·527	Kohle frisch. Koke: glänzend, schiefrig, klein, sehr gut.
Torrburn, frisch .	61·5	31·7	46·0	7·5	0·7	0·1	41·8	57·8	9·2	26·0	34·0	0·527	Kohle frisch. Koke: klein, zum Brennen geeignet.
Torrburn, 12 Monate alt......	59·3	32·6	46·3	7·8	0·8	0·1	36·5	58·0	10·0	28·0	37·0	0·539	
Tyne	71·9	30·9	56·8	4·7	0·9	0·1	47·6	47·0	11·6	26·7	36·0	0·557	Kohle frisch. Koke: hart, dicht, großstückig, gut.
Tyne (in heißer Retorte)......	71·7	32·5	56·3	4·0	0·9	0·1	43·5	61·5	10·4	23·4	32·0	0·532	
Wigan Incehall, best gas-coal .	73·0	32·4	57·3	6·8	1·10	0·10	38·1	49·5	7·3	22·1	—	0·453	Kohle 8 Monate alt. Koke: zerbröckelt, brennt gut, schlackt stark.
Wigan Incehall, best round-coal	73·0	29·8	57·0	7·5	1·07	0·10	42·1	55·5	8·5	22·3	—	0·481	Kohle 7 Monate gelagert. Koke: schön, grob, hart, brennt gut, ohne Schlaken.
Woodville	63·3	37·2	49·8	0·6	0·8	0·1	41·7	54·5	10·2	28·0	38·0	0·538	Kohle frisch. Koke: mittelgroß, schiefrig, Ofenbrand.
Plattenkohlen.													
1. Aus Deutschland:													
Konsolidation, Westfalen	71·0	30·9	59·3	6·5	0·9	0·1	47·2	64·5	6·8	19·6	26·1	0·475	Kohle frisch angekommen. Koke: klein, hart, rein, gut.
Konsolidation, neues Flöz ...	72·3	36·3	49·8	6·6	0·9	0·1	41·1	67·0	7·2	20·2	27·9	0·469	

Kohle	1 *hl* wog	100 *kg* gaben			1 *hl* gab		1 *hl*		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 *l*	113 *l*	150 *l*		
	kg	*kg*	*kg*	*kg*	*hl*	*hl*	*kg*	*kg*	Konsum				
2. Aus Böhmen (Pilsen):													
Humboldtschacht	61·5	27·4	39·7	17.0	0·90	0.25	27·0	41·9	13·2	37·0	—	0·582	Kohle frisch. Koke: kleinstückig, verschlackt die Roste stark
Humboldtschacht	62·5	30·0	55·4		0·98		35·5		8·3	23·2	—	0·528	Kohle 2 Monate gelagert. Koke: zerfällt leicht, brennt schwer.
Humboldtschacht	59·2	29·0	59·8		1·03		34·5		8·5	23·8	—	0·504	Kohle 4 Wochen gelagert. Koke: groß, nicht gebacken.
Tremosna	62·2	36·4	39·8	11·3	0·71	0·15	34·7	49·2	6·4	21·4	—	0·511	Kohle 1 Jahr gelagert. Koke: etwas bergmittelhaltig, brennt schwer.
Zieglerschacht ..	64·5	31·6	47·7	8·8	0·84	0·11	36·6	51·9	6·0	18·2	—	0·513	Kohle frisch. Koke: hart, brennt leicht, gut, aber rasch ab.
Braunkohlen.													
1. Aus Deutschland:													
Odenwald	—	26·3	47·4		—	—	—	—	—	4·4	6·0	0·579	Kohle mit 32% Feuchtigkeitsverlust in Booten geliefert. Rückstände: ganz unbrauchbar.
Rheinische Beleuchtungs-Aktiengesellschaft, Bonn	67·4	14·8	49·3		0·72		46·4		7·1	19·8	—	0·430	Kohle 1 Monat gelagert, erdig, feucht, vor den Öfen getrocknet. Rückstand: fein, staubig, kein Brennstoff.
2. Aus Böhmen:													
Falkenau, braun, Stückkohle ...	51·6	30·0	35·7		0·49		37·9		10·3	28·8	—	0·557	Kohle 4 Monate gelagert. Rückstand: schaumig, kokeartig, kein Brennstoff.

Kohle	1 *hl* wog	100 *kg* gaben			1 *hl* gab		1 *hl*		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 *l*	113 *l*	150 *l*		
							wog		Konsum				
	kg	*kg*	*kg*	*kg*	*hl*	*hl*	*kg*	*kg*					
Falkenau, schwarz, Stückkohle	57·2	32·2	34·5		0·50		39·6		10·0	28·0	—	0·559	Kohle und Rückstand, wie vorstehend.
Falkenau, gem. .	60·4	41·4	35·9		0·52		41·8		8·9	24·9	—	0·532	Kohle 2 Monate gelagert. Rückstand: wie vorstehend.
Falkenau, gem. .	62·1	29·2	—	—	—	—	—	—	9·0	25·2	—	0·546	Kohle 6 Monate gelagert. Rückstand: wie vorstehend.
Falkenau, gem. .	64·8	34·6	—	—	—	—	—	—	3·2	11·9	—	0·562	Kohle 8 Monate gelagert. Rückstand: wie vorstehend.
Grünlaser	69·5	29·7	39·1		0·5		53·8		8·8	20·7	28·0	0·580	Kohle erdpechartig, hart. Koke: grießig, unbrauchbar.
Radler's Boghead-Imitation	64·0	33·4	—	—	—	—	—	—	4·3	14·5	—	0 541	Kohle 8 Monate alt. Rückstand: wie vorher.
v. Starck's Boghead-Imitation	62·0	33·8	—	—	—	—	—	—	5·5	17·5	—	0·561	Kohle 12 Monate gelagert Rückstand: wie vorher.
3. Aus Brasilien:													
Turfa	46·3	32·7	36·3		0·4		42·0		4·7	17·4	23·0	0·493	Kohle weich, gelb, klaubig. Rückstände: fein, glimmen nur.
Bituminöse Schiefer.													
1. Aus Frankreich:													
Boghead français d'Autun	60·0	33·8	32·5	22·8	0·48	0·25	40·3	54·8	11·6	32·5	—	0·572	Schiefer 1 Woche gelagert. Rückstand: schwammig, erdig, kein Brennstoff.
Boghead français d'Autun	59·7	35·4	—	—	—	—	—	—	12·9	36·1	—	0·601	Schiefer 3 Wochen gelagert. Rückstand: wie vorher.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke wog	Grieß wog	50 l	113 l	150 l		
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg	Konsum				
Boghead français d'Autun	58·0	29·4	31·8	23·0	0·49	0·24	37·5	50·6	11·3	31 6	—	0·692	Schiefer 10 Monate gelagert. Rückstand: wie vorher.
Boghead, solide d'Autun	71·3	30·0	31·7	24·7	0·54	0·32	32·2	54·8	9·3	26·0	—	0·570	Schiefer frisch. Rückstand: wie vorher.
2. Aus Schottland:													
Airdrihill II	58·0	34·6	48·2	1·1	0·8	0·1	36·4	49·3	7·7	23·0	31·0	0·520	Kohle frisch. Rückstand: 56% Asche, unbrauchbar.
Barr	61·8	33·4	45·9	5·6	0·77	0·36	37·0	55·0	9·4	26·3	—	0·593	Schiefer 6 Monate gelagert. Rückstände: schiefrig, kokeartig, brennen nicht.
Bathgate	61·1	29·2	50·1		1 00		30·21		13·3	37·2	—	0·576	Schiefer 8 Monate gelagert. Rückstände: erdig, brennen nicht.
Boghead, new...	63·6	35·2	46·0	15·5	0·75	0·19	39·0	52·4	8·5	23·8	—	0·472	Schiefer 1 Monat alt. Rückstand: unrein, brennt nicht.
Boghead, Plesio.	59·5	31·6	41·0	10·4	0·70	0·13	34·9	46·5	11·1	24·9	—	0·492	wie vorstehend.
Capeldran	56·4	31·2	49·4		0·80		34·9		10·3	28·8	—	0·576	Schiefer frisch. Rückstand: tonig, weich, kein Brennstoff.
Clengh.........	66·1	31·8	50·7	1·2	0·82	0·16	41·0	51·5	7·6	21·3	—	0·535	Schiefer frisch. Rückstand: tonig, mit Koke durchsetzt, kein Brennstoff.
Gartleeroad	58·7	36·8	43·0	6·3	0·8	0·1	32·1	51·5	9·3	26·0	35·0	0·512	Kohle 3 Monate gelagert. Rückstand: wie vorstehend.
Greenhill	68·7	24·7	56·5	10·6	0·8	0·1	46·9	65·5	7·6	21·3	29·0	0·538	Kohle 4 Monate gelagert. Rückstände: hart, schiefrig, unbrauchbar.

Kohle	1 hl wog	100 kg gaben			1 hl gab		1 hl		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 l	113 l	150 l		
							wog		Konsum				
	kg	kg	kg	kg	hl	hl	kg	kg					
Harthill	58·3	35·6	48·1		0·88		31·8		11·0	30·8	—	0·568	Schiefer frisch. Rückstand: tonig, unbrauchbar.
Harthill	58·3	34·0	47·1		0·83		32·9		12·2	34·2	—	0·598	
Lothian	57·8	39·5	34·1	9·7	0·7	0·1	27·6	39·0	10·5	29·0	39·0	0·546	Kohle 3½ Monate gelagert. Rückstand: unbrauchbar.
Monkland	50·2	36·8	42·6		0·75		28·0		14·5	40·6	—	0·612	Schiefer frisch. Rückstand: tonig, unbrauchbar.
Monkland	50·9	38·6	—	—	—	—	—	—	11·7	32·8	—	0·613	Schiefer 13 Monate alt. Rückstand: wie vorher.
Monkland	51·2	38·2	—	—	—	—	—	—	11·6	32·5	—	0·618	Beides wie vorstehend.
Polkemmet	55·6	35·0	22·2	0·7	0·94	0·10	25·0	39·5	11·5	32·2	—	0·519	Schiefer frisch. Rückstand: wie vorstehend.
Shotts	54·0	35·4	38·0	0·1	0·69	0·14	29·8	45·2	14·0	39·2	—	0·602	Beide wie vorstehend.
Springwell	61·0	35·2	44·3	8·8	0·77	0·11	36·4	50·5	8·6	24·1	—	0·471	Schiefer 7 Monate gelagert. Rückstand: kokehaltig, brennt unter dem Dampfkessel.
Standard	74·5	26·0	54·3	11·8	0·8	0·1	50·0	67·5	4·9	17·0	22·5	0·609	Kohle sehr hart, 12 Monate gelagert. Rückstände: schwer, steinartig, unbrauchbar.
Torbanehill, gemischt	53·4	35·0	—	—	—	—	—	—	11·5	32·2	—	0·541	Schiefer frisch. Rückstand: tonig, unbrauchbar.

Kohle	1 *hl* wog	100 *kg* gaben			1 *hl* gab		1 *hl*		Leuchtkraft des Gases in Normalkerzen			Spez. Gewicht des Gases	
		Gas	Koke	Grieß	Koke	Grieß	Koke	Grieß	50 *l*	113 *l*	150 *l*		
							wog		Konsum				
	kg	*kg*	*kg*	*kg*	*hl*	*hl*	*kg*	*kg*					
Torbanehill, braun	52·0	35·6	42·6		0·91		23·6		12·2	34·2	—	0·480	Beides wie vorstehend.
Torbanehill, schwarz	51·9	37·0	41·1		0·88		24·4		12·4	34·7	—	0·589	
Torbanehill, gemischt	56·5	35·8	—	—	—	—	—	—	10·1	26·0	—	0·529	
Walkers Dyke-head	66·8	31·4	42·6	14·3	0·79	0·19	34·5	46·0	7·5	21·0	—	0·539	Schiefer 7 Monate gelagert. Rückstand: wie vorstehend.
Wemyss	68·0	32·8	41·9	12·7	0·70	0·17	40·7	51·8	9·6	25·1	—	0·464	Schiefer 8 Monate gelagert. Rückstand: schiefrig, kein Brennstoff.
3. Aus Australien:													
Kerosene Shale .	51·6	40·2	20·9	9·2	0·3	0·1	40·4	44·3	13·5	37·0	50·0	0·606	Kohle frisch. Rückstände: schiefrig, kein Brennstoff.
Boghead Cannel	51·6	41·6	21·2	12·7	0·3	0·1	38·4	45·8	13·0	36·0	48·0	0·626	Rückstände: schiefrig, mit 55—87% Asche.
Verschiedene Sendungen, gemischt	53·9	40·3	20·9	9·2	0·3	0·1	40·4	44·3	13·1	36·7	50·0	0·601	Rückstände: schiefrig, mit 55—87% Asche.
dunklere, schwarze	52·6	39·5	28·5	7·5	0·3	0·1	31·1	44·0	13·6	38·0	51·0	0·582	Rückstände: schiefrig, mit 44% Asche.
hellere, braune	49·5	31·5	17·7	13·6	0·3	0·2	30·7	37·8	14·9	41·0	55·0	0·590	Rückstände: schiefrig, mit 73% Asche.

Vergasungsergebnisse der Pariser Gasgesellschaft mit verschiedenen Kohlen:

Steinkohlen von			Pas-de-Calais	Pas-de-Calais	England	Commentry	Blanzy
Zusammensetzung		Wasser, hygroskopisch %	2·17	2·70	3·31	4·34	6·17
		Asche . . . . %	9·04	7·06	7·21	8·80	10·73
	der Kohlensubstanz	Sauerstoff %	5·56	6·66	7·71	10·10	11·70
		Wasserstoff %	5·06	5·36	5·40	5·53	5·64
		Kohlenstoff %	88·38	86·97	85·89	83·37	81·66
		Stickstoff %	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00
Die trockene Destillation liefert (Gew. %)		Gas	13·70	15·08	15·81	16·95	17·00
		Teer.	3·90	4·65	5·08	5·48	5·59
		Ammoniakwasser	4·59	5·57	6·80	8·61	9·86
		Koke	71·48	67·63	64·90	60·88	58·00
		Kohlenstaub	6·33	7·07	7·41	8·08	9·36
Leuchtgas (Volumen)		Vol. pro 100 *kg* Kohle in m^3	13·30	31·01	30·64	29·73	27·44
		Leuchtkraft: Liter pr. 1 Carcel	132 *l*	112 *l*	104 *l*	102·1 *l*	101·8 *l*
	Zusammensetzung	Kohlensäure . %	1·47	1·58	1·72	2·79	3·13
		Kohlenoxyd . . %	6·68	7·19	8·21	9·86	11·93
		Wasserstoff . . %	54·21	52·79	50·10	45·45	42·26
		Methan. . . . %	34·37	34·43	35·03	36·42	37·14
		Benzol . . . . %	0·79	0·99	0·96	1·04	0·88
		Schwere Kohlenwasserstoffe . %	2·48	3·02	3·98	4·44	4·76

Die Verbrennungswärme der Steinkohle ist größer als die Summe der Verbrennungswärmen der Produkte der trockenen Destillation. Es ist somit die Bildungswärme der ersteren kleiner als jene der letzteren, d. h. die normale trockene Destillation erfolgt unter Wärmeabsorption.

So fand Mahler*) den Brennwert von 100 Teilen Steinkohle von Commentry zu 742330 Cal., während die Destillationsprodukte ergaben:

Koke	65·66%	. . . . 460 893·8	Cal.
Teer aus der Vorlage . .	3·59%	. . . . 31 904·3	„
„ „ dem Sammler . .	0·87%	. . . . 7 780·2	„
„ „ „ Kühler . .	1·16%	. . . . 10 243·9	„
„ „ „ Abscheider .	1·89%	. . . . 16 137·6	„
Leuchtgas	17·09%	. . . . 189 887·0	„
Gaswasser	9·36%	. . . . —	
Summe . .	99·62%	. . . . 716 846·8	Cal.
Wärmeabgang		25 483·3	„
	Total . .	742 330·1	Cal.
Zur Destillation verbrauchte Kokemenge .	21·09%	. . . . 148 053·9	Cal.

*) Siehe auch Technologie der Energien, I., 1, p. 216 u. 217.

Übungsthemen.

Studien über die trockene Destillation verschiedener Materialien unter variierenden Versuchsbedingungen.

Bilanz der trockenen Destillation unter geänderten Bedingungen. Vergleichung der Resultate in Bezug auf Gasausbeute, Leuchtkraft und Brennwert desselben, sowie auf Menge und Zusammensetzung der Nebenprodukte.

VI. Kapitel.

Retorten und Öfen der Leuchtgasfabrikation.

Die Destillation der Kohlen für Zwecke der Leuchtgasfabrikation erfolgt in Retorten, die früher allgemein aus Gußeisen hergestellt wurden. Heute werden jedoch nur mehr Tonretorten verwendet, weil sie durch Abbrand und den Schwefel der Koke weit weniger zerstört werden, also länger dauern als erstere, und sich stärker erhitzen lassen, wodurch die Destillationszeit verkürzt und — bei gleicher Leuchtkraft — eine größere Gasausbeute erzielt wird. Freilich müssen Tonretorten vorsichtig angeheizt werden.

Die Tonretorten sind nicht so dicht als die gußeisernen, indem durch ihre Poren und vorhandene Risse nicht nur Leuchtgas aus dem Retorteninnern aus-, sondern*) auch Feuergase (trotz des inneren Gegendruckes) durch Diffusion ins Innere hineintreten können. Dies hört jedoch bald auf, indem sich Poren und Risse durch ausgeschiedenen Retortengraphit völlig dicht verschließen. In England finden auch gemauerte Retorten Verwendung, die aus Dinassteinen**) hergestellt werden. Ähnliche Formsteine benützt man auch am Kontinent zum Ausbessern schadhaft gewordener Retorten.

Um das Ausströmen von Gasen aus der Retorte zu vermeiden, werden oft Exhaustoren angewendet, welche den Gasdruck in den Retorten auf etwa 30 *mm* Wassersäule vermindern. Sie bewirken, daß sich das erzeugte Leuchtgas weniger lang in den Retorten aufhält, somit weniger stark zersetzt wird, wodurch sich die Abscheidung von Retortengraphit wesentlich verringert. Die Dauer der Tonretorten***) beträgt 400—1200 Betriebstage.

*) Nach Deville.

**) Zerkleinerter Sandstein wird mit Kalkstein gemischt, in Formen gepreßt und gebrannt.

***) Innen glasierte sind dauerhafter.

Der Querschnitt der Retorte ist gewöhnlich D-förmig, kreisrund oder elliptisch (Fig. 64). In England verwendet man gewöhnlich kreisförmige, in Frankreich elliptische Retorten. Der Verein deutscher Gasfachmänner hat folgende normale Lichtenmaße für elliptische und D-förmige Retorten angenommen:

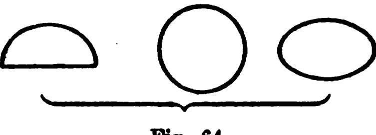


Fig. 64.

Länge *mm*	Elliptisch Weite *mm*	Elliptisch Höhe *mm*	Elliptisch Gewicht *kg*	D-förmig Weite *mm*	D-förmig Höhe *mm*	D-förmig Gewicht *kg*
2450	525	380	560	525	365	510
2600			590			535
2750			620			565
3000			780			—
2450	525	315	525	525	315	490
2600			550			515
2750			580			540
2450	470	380	550	470	350	490
2600			580			515
2750			600			540
2450	430	350	490	470	315	475
2600			515			515
2750			540			540

Man gibt den Retorten eine möglichst große Länge, doch kann man dort, wo sie von Hand chargiert werden, nicht über 3 *m* Länge hinausgehen. Gewöhnlich stellt man, um die Wärmeverluste durch Strahlung zu verringern, zwei Retortenöfen mit der Rückseite gegeneinander. In diesem Falle kann man auch die Retortenböden, welche sie teuerer machen, ersparen, indem man die Retorten, die dann durch den Doppelofen hindurchgehen,*) aus drei Röhrenstücken von je 2 *m* Länge zusammensetzen. Diese Anordnung bietet noch den weiteren Vorteil, daß man den an den Wänden haftenden Retortengraphit leicht ausbrennen kann, wenn man die Retorte auf beiden Seiten öffnet. Beim gleichzeitigen Chargieren solcher Retorten von beiden Seiten ist jedoch Vorsicht nötig, da leicht eine Flamme herausschlagen und den hiebei beschäftigten Arbeiter verbrennen kann.

*) Die Mittelwand fällt dann fort.

Fig. 65 gibt eine einfache Pariser Retorte, Fig. 66 das Mittelstück einer zusammengesetzten im Längsschnitt.

Um bei Retorten mit Boden den anhängenden Retortengraphit auszubrennen, wird in die Mündung derselben eine Gußeisenplatte eingesetzt, die in der Mitte ein Rohr trägt, das außer der Retorte

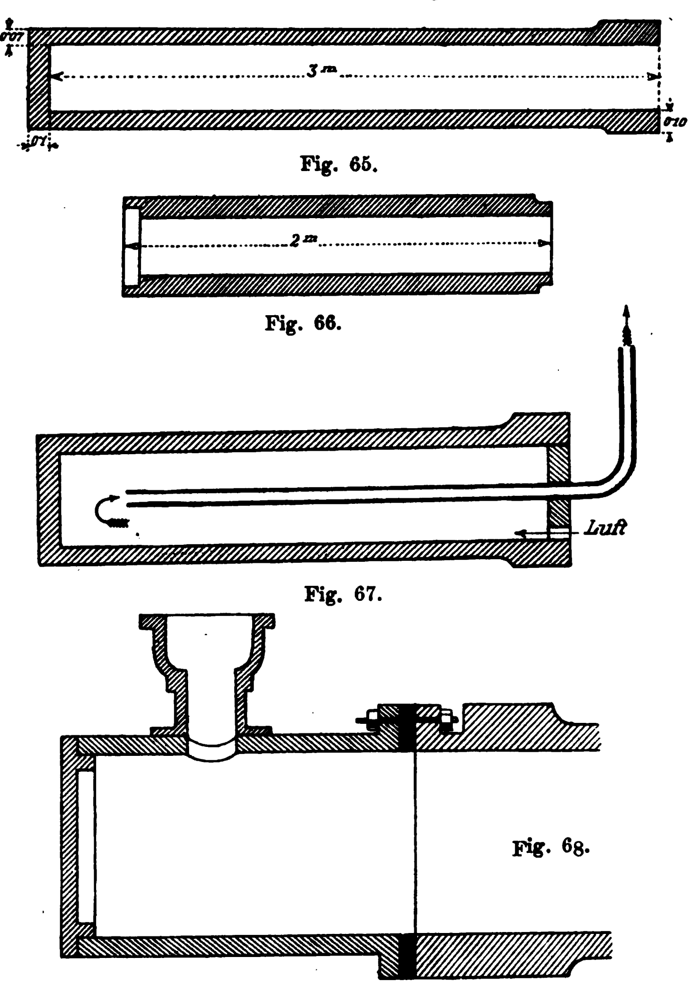


Fig. 65.

Fig. 66.

Fig. 67.

Fig. 68.

nach aufwärts gebogen ist, während im unteren Teile der Platte eine Öffnung angebracht ist (Fig. 67). Der hiedurch bewirkte Luftzug begünstigt das Ausbrennen.

Der Verschluß der Retorten besteht aus einem eisernen Mundstücke mit Deckel. Erstere sind an den Retortenköpfen mittels Schraubenbolzen und Muttern befestigt (Fig. 68). Zur

Dichtung wird zwischen Mundstück und Retortenkopf ein Kitt aufgestrichen, der aus

2 Teilen gebranntem Gips und
1 Teil Eisenfeile

besteht nnd mit konzentrierter Salmiaklösung angemacht wird. Schilling empfiehlt einen solchen aus

8 *kg* Eisenbohrspänen
0·12 „ Salmiak,
1 „ Chamotte und
1 „ feuerfestem Ton

mit Wasser zu einem dicken Brei angemacht.

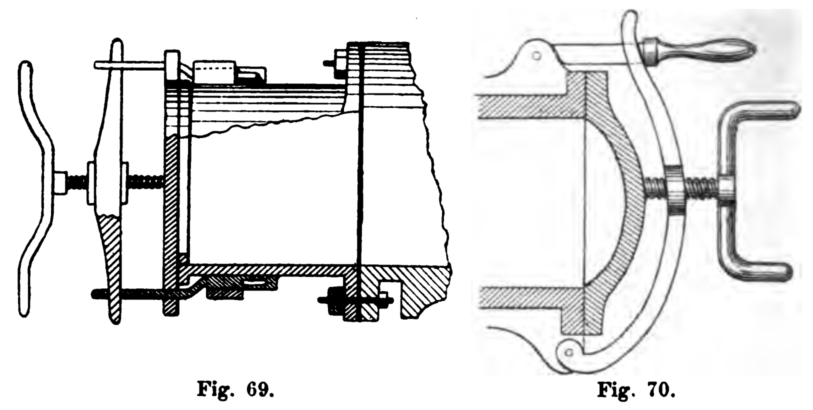


Fig. 69. Fig. 70.

Die Retortendeckel werden aus Schmiedeeisen, Gußeisen oder Stahl hergestellt. Die Art ihrer Befestigung ist eine sehr mannigfaltige. Die Fig. 69 bis 71 zeigen verschiedene Arten von Verschlüssen, von denen jedoch hauptsächlich nur mehr die sogenannten Morton-Verschlüsse (Fig. 72 bis 74) in Verwendung stehen, die keiner Dichtung mit Kitt bedürfen. Die Figuren erfordern wohl keiner weiteren Erklärung.

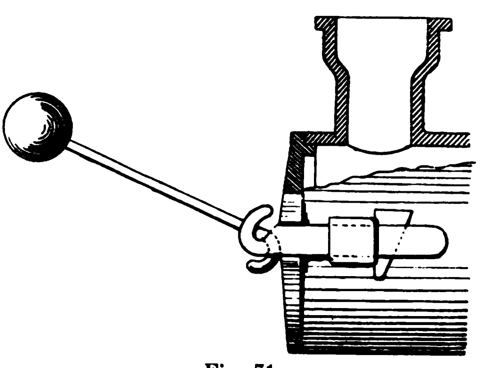


Fig. 71.

Die Öfen, welche man zur Leuchtgasfabrikation verwendet, sind Retortenöfen, die entweder mit direkter Feuerung

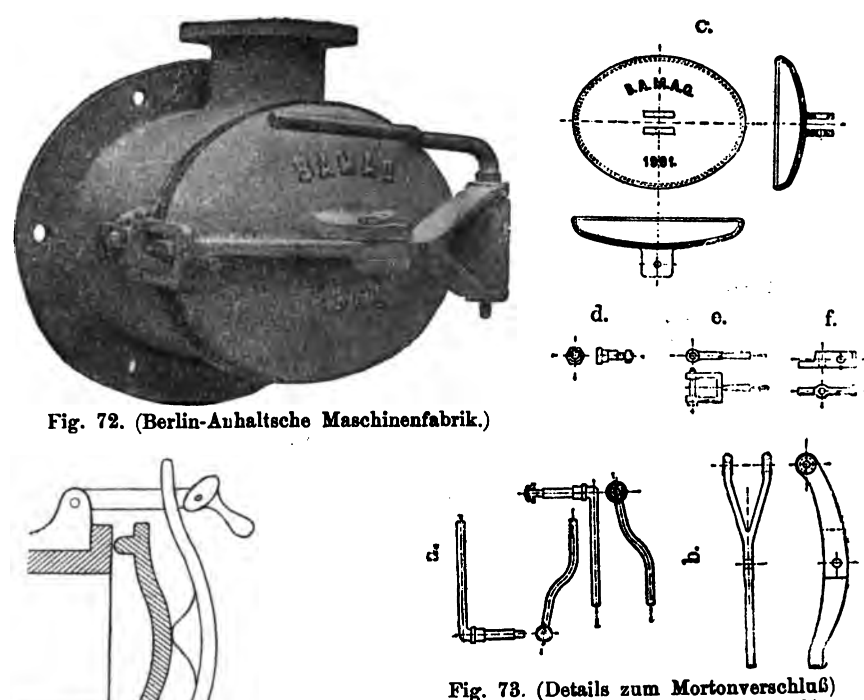


Fig. 72. (Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik.)

Fig. 73. (Details zum Mortonverschluß) (Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik).

Fig. 74.

oder mit Gasfeuerung versehen sind. Sie werden, je nach dem Bedarf, für 1—9 Retorten gebaut und nach der Zahl der Retorten benannt.

Schon früher*) wurde ein Gasretortenofen mit direkter Feuerung für drei Tonretorten abgebildet und beschrieben. Als weiteres Beispiel möge der Münchener Sechserofen mit direkter Feuerung (Fig. 75) dienen. Die Retorten derselben haben 2·5 *m* Länge, 549 *mm* Breite, 418 *mm* Höhe und 72 *mm* Wandstärke. Sie ruhen auf mehreren 131 *mm* breiten Trägern b auf. c ist der Rost, von dem aus die Feuergase aufsteigen, die Retorten umspielen und dann nach unten durch die Öffnungen d in die seitlichen Züge gelangen.

Beim Kornhardt'schen Systeme sind die Ofengewölbe aus Formsteinen gebildet, die so konstruiert sind, daß der Abstand zwischen Gewölbe und Retorten überall gleich ist (66—78*mm*).

Von den Retortenöfen mit Gasfeuerung wurden die Münchener Öfen von Schilling und von Bunte gleichfalls schon früher besprochen.**)

*) Lehrbuch der chem. Technologie d. Energien, I., 2., p. 134, 135, Fig. 92, 93

**) Chem. Technologie d. Energien, I., 2., p. 137—140, Fig. 96 u. 97.

Als weitere Beispiele mögen noch folgende angeführt werden:

Siebenerofen von Müller und Eichelbrenner (Fig. 76—79). Der Schachtgenerator (Fig. 76) ist unten mit einem Treppenrost abgeschlossen, b ist der Gasabzug. Die übrigen Figuren geben den Retortenofen im Längs- und Querschnitt sowie im Grundrisse. Die Gase gelangen aus dem Generator A in den unter der Ofensohle liegenden Hauptkanal c und aus Schlitzen desselben in den Retortenraum B. Die bei e (Fig. 79) eintretende Verbrennungsluft erwärmt sich beim Durchströmen der gleichfalls unter der Ofensohle liegenden Kanäle f und g und gelangt von hier durch Schlitze unter den Chamotteschirm d zum Heizgase. Die Flamme steigt in der Mitte des Retortenraumes in die Höhe, dann zu beiden Seiten desselben nach abwärts, gelangt dann in den unter den beiden untersten Retorten liegenden Kanal i zum Fuchs k und durch m zur Esse.

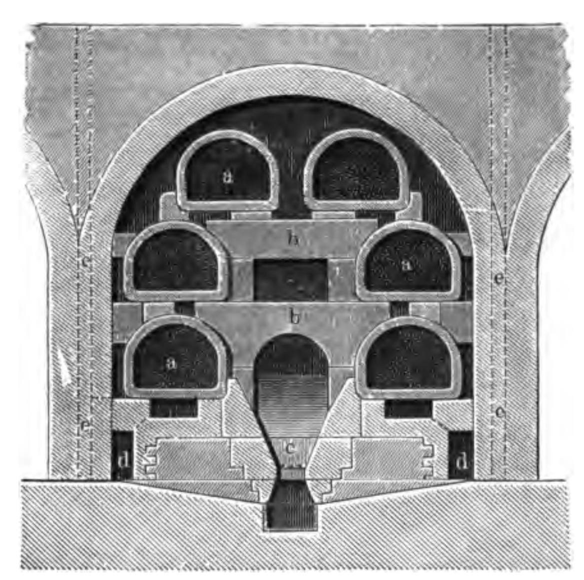


Fig. 75. (Nach Muspratt.)

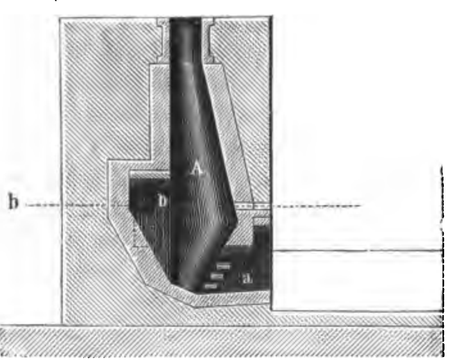


Fig. 76. (Nach Muspratt.)

Der Neunerofen von Hasse-Didier ist in Fig. 80 u. 81 abgebildet. Bei demselben wird die zum Generator tretende Primärluft nicht vorgewärmt. Hingegen wird unter den Rost desselben Dampf geleitet, der in Dampfentwicklern erzeugt wird, welche in die Rekuperatoren eingebaut sind. Die Sekundärluft durchströmt die

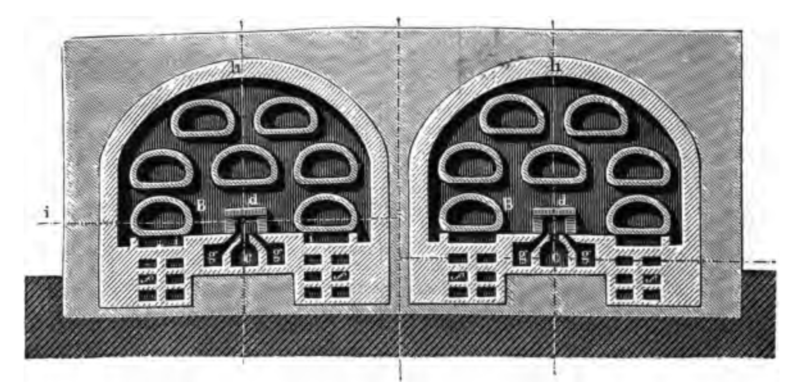


Fig. 77. (Nach Muspratt.)

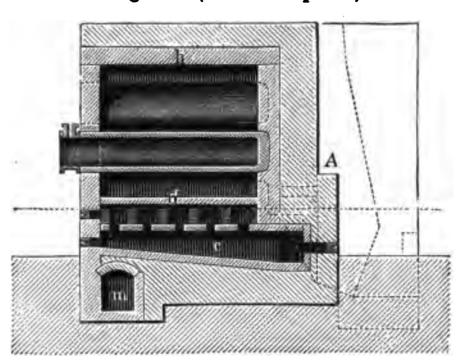


Fig. 78. (Nach Muspratt.)

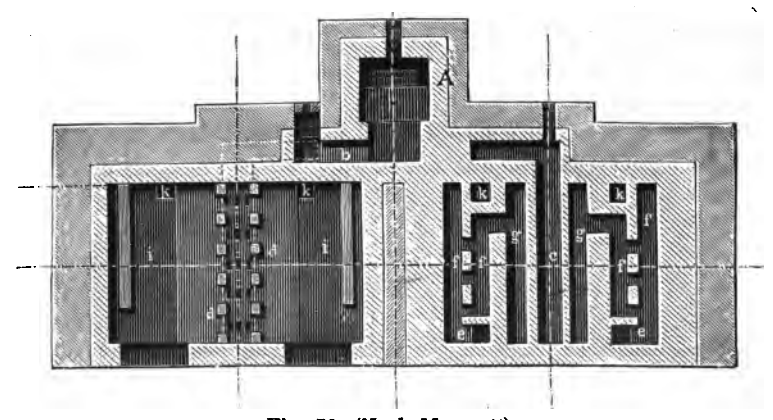


Fig. 79. (Nach Muspratt).

Rekuperatorkanäle L, erwärmt sich hiebei und tritt in der Mitte des Ofens, zu beiden Seiten des Generatorgases, in den Retortenraum. Die Flamme strömt in der Ofenmitte nach aufwärts, zu

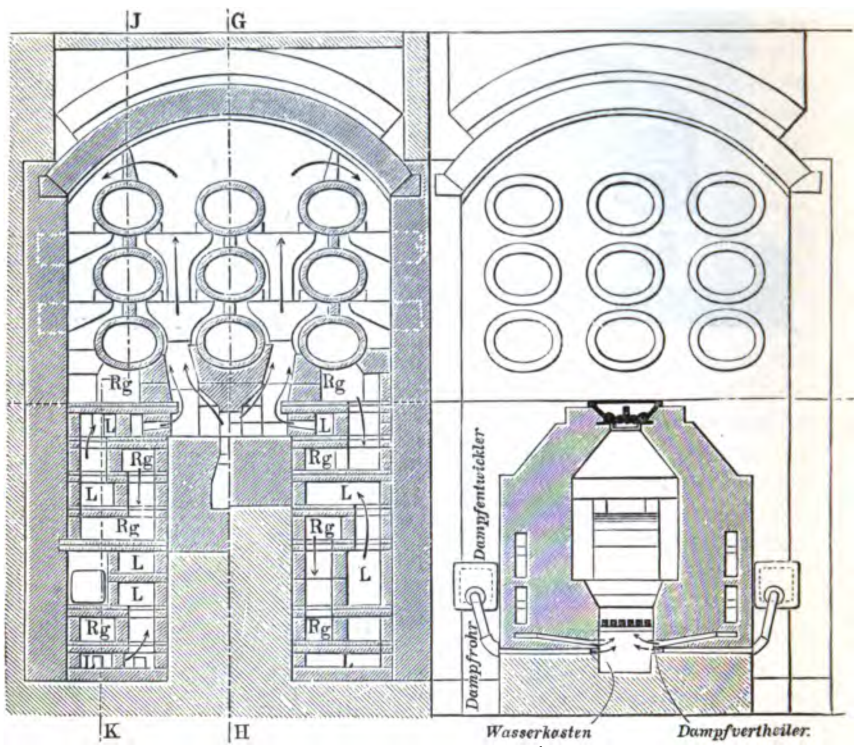


Fig. 80. (Nach Muspratt.)

beiden Seiten wieder hinab, und gelangt durch die Rekuperatorkanäle Rg zur Esse.

Der Sechserofen von Hasse-Vacherot (Fig. 82, 83 u. 84) ist für Halbgasfeuerung eingerichtet. Auf dem Roste A wird die Kohle mit etwa 80 *cm* Schütthöhe aufgegeben. Die Primärluft tritt durch den regulierbaren Schieber F in die Bodenkanäle H, wo sie sich vorwärmt, und gelangt durch die Schlitze J unter den Rost. Unter dem Roste befindet sich der Wasserkasten O. Die Sekundärluft tritt durch den Regulierschieber P in die Kanäle R und von hier durch den Schlitz S in den Verbrennungsraum. Die Feuergase bestreichen die Retorten der Länge nach und gelangen schließlich durch die Kanäle K, M und N zur Esse.

Gewöhnlich werden mehrere Retortenöfen (in französischen Gaswerken meist 8) zu Gruppen (2 Reihen zu je 4 Öfen Rücken an Rücken) zusammengestellt (Ofenbatterie, Fig. 85). Die Kohlenvorräte liegen, getrennt nach den verschieden zu verwendenden Arten, neben jeder Gruppe.

In England, wo man ohne Kohlengattierung arbeitet, und wo man in erster Linie bestrebt ist, so viel als möglich an Handarbeit (die dort sehr teuer ist) zu sparen, wenn man hiebei auch Kohlenverluste hat, verwendet man S i e b e n e r ö f e n mit einer oben offenen Querwand (Fig. 86). Ein an der Vorderseite der Öfen liegender vertiefter Kanal dient zur Entleerung der Koke in Hunde.

Das L a d e n d e r R e t o r t e n erfolgt entweder mit gewöhnlichen Schaufeln oder mit großen L a d e s c h a u f e l n, welche drei Mann zur Bedienung brauchen, oder endlich, in neuerer Zeit, mit C h a r g i e r m a s c h i n e n.

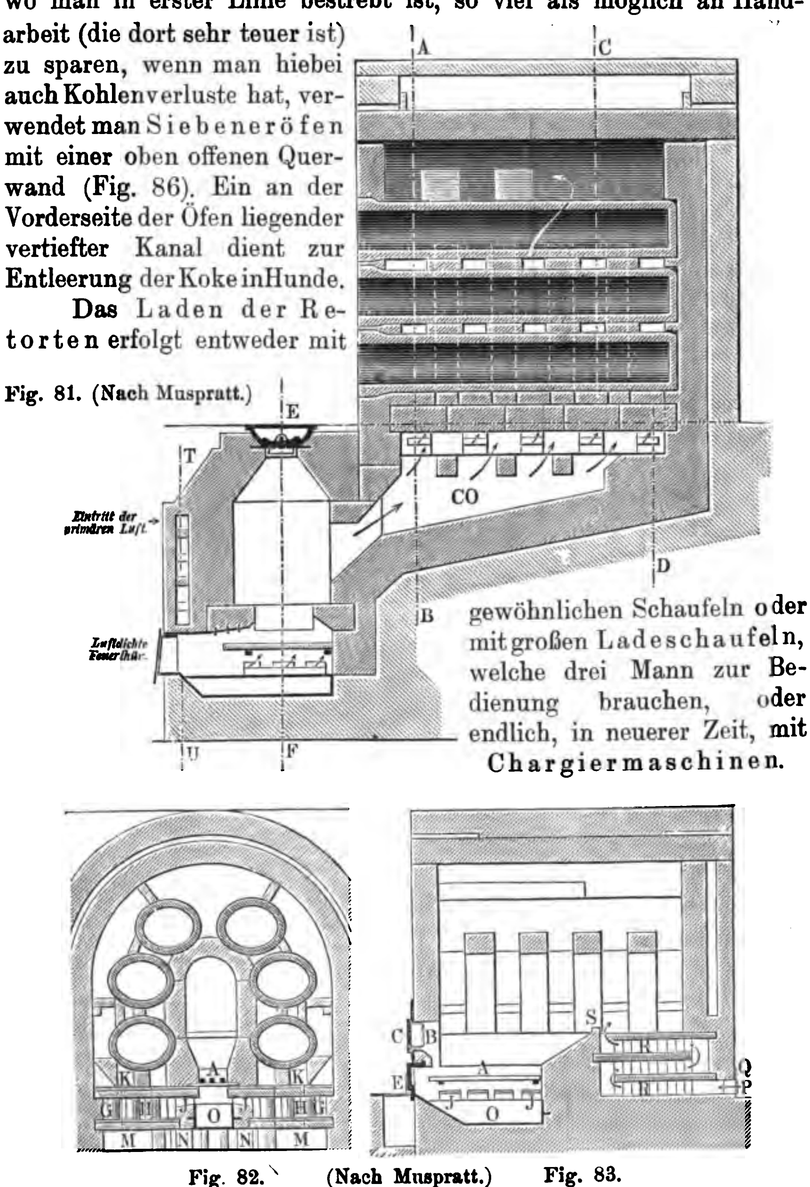


Fig. 81. (Nach Muspratt.)

Fig. 82. (Nach Muspratt.) Fig. 83.

Nach beendeter Destillation wird die glühende Koke aus den Retorten gekrückt und mit Wasser abgelöscht.

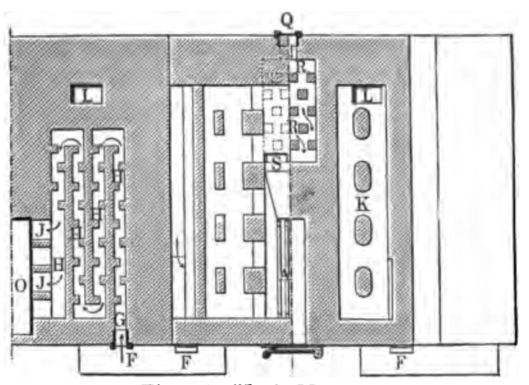


Fig. 84. (Nach Muspratt).

Um beim Chargieren und Entleeren der Retorten die Schwerkraft benützen zu können, hat man **geneigte Retorten** angewendet. Damit sich solche nicht ganz anfüllen, bezw. um ober der Kohlenfüllung noch einen leeren Raum zu erhalten, gibt man ihnen meist eine Neigung von etwa 19° gegen den Horizont. Um anderseits ein Vorrollen der Kohlen bis zu dem außerhalb des Ofens liegenden Retortenverschlusse zu verhindern, wird hinter demselben ein umgebogenes Blech eingesetzt. Einen derartigen von Hasse in der Dresdener Gasanstalt gebauten Ofen mit Chargiervorrichtung zeigt Fig. 87. Die Steigrohre sind am unteren Ende der Retorten angeordnet, weil sie sich am anderen Ende durch herabtropfenden Teer, der sich zufolge der hohen Ofentemperatur zersetzen würde,

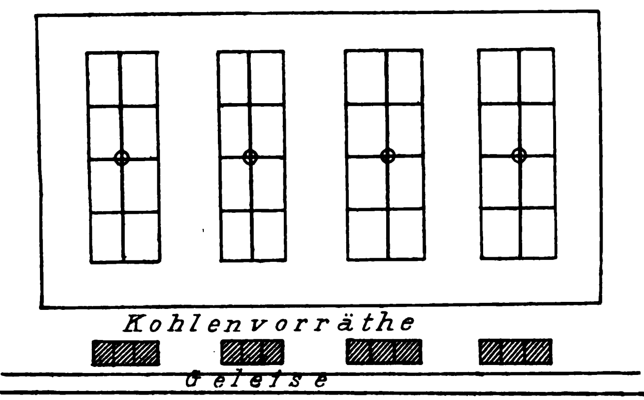
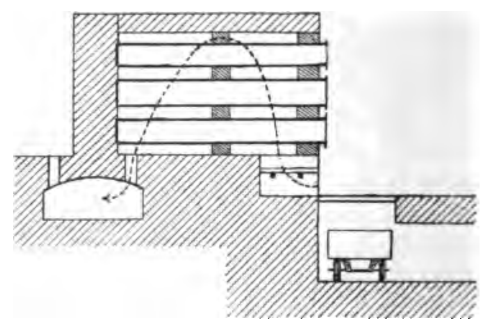


Fig. 85.


Fig. 86.

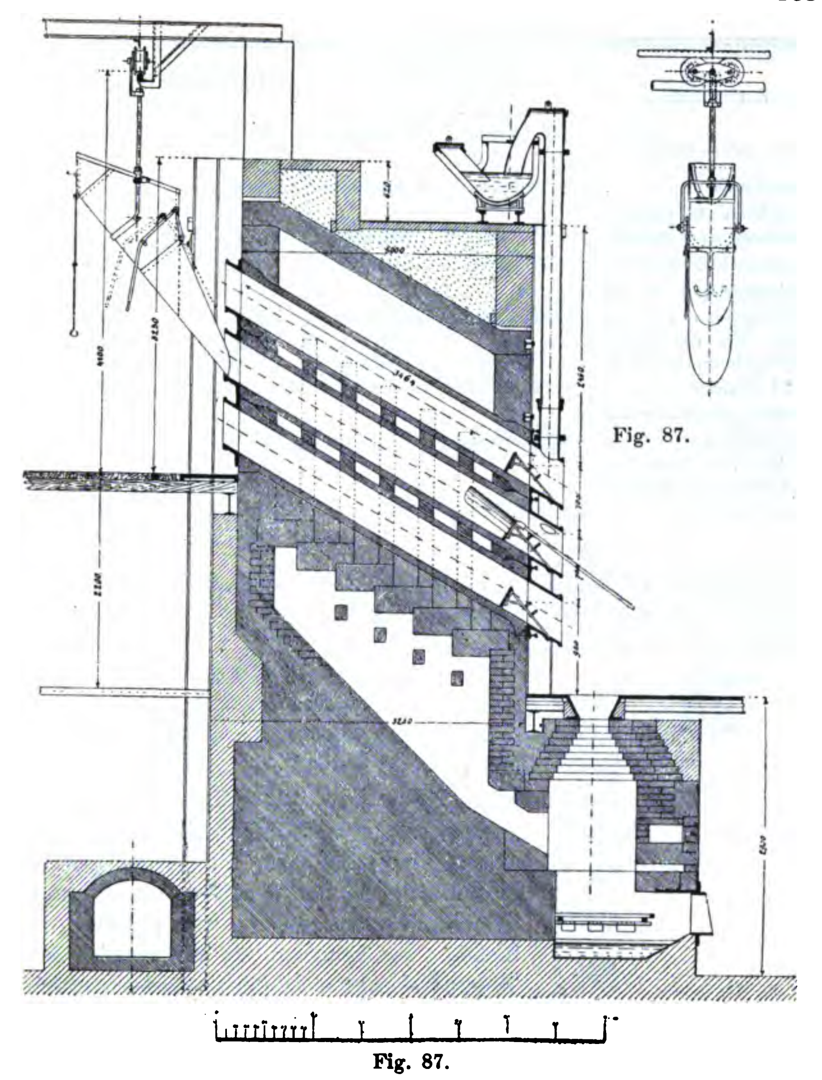


Fig. 87.

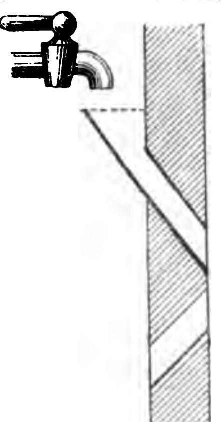
verstopfen könnten. Solche Ofen erfordern wegen der Neigung der Retorten eine bedeutende Höhe und sind daher schwieriger zu konstruieren. Trotz der hiebei leicht eintretenden ungleichen Erhitzung ist dieses System doch ökonomisch und findet daher (R h e i m s, D r e s d e n, W i e n e r städtische Gasanstalt, etc.) immer weitere Verbreitung.*)

Ein Vergleich zwischen den Öfen mit horizontalen und mit geneigten Retorten gibt H a s s e in Dresden:

*) In aller neuester Zeit werden Öfen mit verticalen Retorten sehr empfohlen.

Betriebsdaten	Geneigte Retorten		Horizontale Retorten	
	2 Öfen	3 Öfen	2 Öfen	3 Öfen
Abtreibzeit	4 Stunden	4 Stunden	4 Stunden	4 Stunden
Durchschnittl. Kohleneintrag einer Retorte	215 *kg*	215 *kg*	150 *kg*	150 *kg*
Einträge in 24 Stunden	108	162	108	162
Kohleneintrag in 24 Stunden	23224 *kg*	34836 *kg*	16200 *kg*	24300 *kg*
Lohn für die Bedienungsmannschaft in 24 Stunden	6 Mann à 3·30 M. = 19·80 M.	6 Mann à 3·30 M. = 19·80 M.	6 Mann à 3·50 M. = 21 M.	9 Mann à 3·50 M. = 31·50 M.
Kohlen pro Mann und Schicht...........	3870·66 *kg*	5806·0 *kg*	2700 *kg*	2700 *kg*
Lohn für 1000 *kg* Kohlen einzutragen, rund	85 Pf.	57 Pf.	1·30 M.	1·30 M.

Freilich ist hiebei zu berücksichtigen, daß die Anlagekosten für Öfen mit geneigten Retorten ungefähr um $^1/_3$ größer sind als bei solchen mit horizontalen.


Fig. 88.

In einzelnen Fällen wird zur Retortenheizung neben der Koke auch Teer benützt. Das geschieht allerdings nicht, um eine Ersparnis zu erzielen, sondern um einen etwaigen Teerüberschuß zu verwerten und so ein Sinken seines Verkaufspreises zu vermeiden. Zu diesem Zwecke läßt man (Fig. 88) den Teer einfach mittels eines Hahnes in einen Luftstrom fließen, in welchem er verbrennt. Der Teerzufluß kann so beliebig reguliert werden.

Zur weiteren Beurteilung der Gasretortenöfen und ihrer Leistungen mögen folgende Angaben dienen:

Baukosten eines Siebenerofens:

7 Stück Retorten à 120 Kr	840 Kr	
30 m^3 Ziegel à 43 Kr	1350 „	
10 m^3 feuerfeste Ziegel à 90 Kr	900 „	
700 Stück Fassonziegel à Kr 1·20	840 „	
1000 Stück spezielle Feuerungsziegel à 10 h .	100 „	
	4030 Kr	4030 Kr

Metallbestandteile: Übertrag		4030 Kr
Ofenarmatur	610 Kr	
Werkzeug	200 „	
Retortenköpfe, Steigröhren, Hydraulik, etc. .	2000 „	
	2810 Kr	2810 Kr
Gesamtkosten		6840 Kr

oder 960 K pro Retorte. In Paris rechnet man jedoch wegen der höheren Arbeitslöhne, etc. 1250 Frs. pro Retorte.

Eine horizontale Retorte von 3 *m* Länge faßt etwa 125 *kg*, das macht bei vier Stunden Destillationszeit 750 *kg* pro Tag und liefert 225 m^3 Gas, so daß pro Ofen in 24 Stunden 5250 *kg* Kohlen verarbeitet und 1575 m^3 Gas erzeugt werden.

Die Retorten müssen etwa alle Jahre erneuert werden und auf ihre Reparatur kann man etwa 200 Kr rechnen. Die Haltbarkeit der Armaturen ist sehr verschieden.

Zur Heizung der Öfen wird Retortenkoke verwendet. In England wird sie glühend, wie sie aus den Retorten kommt, verwendet, wodurch man allerdings die darin enthaltene Wärme nutzbar, aber eine Kontrolle über den Brennmaterialverbrauch unmöglich macht. Gewöhnlich wird die aus den Retorten gezogene Koke mit Wasser abgelöscht.

Abhängigkeit des Kokeverbrauches von der Anzahl der in einem Ofen enthaltenen Retorten.*)

Art des Ofens	Kokeverbrauch pro 100 *kg* destillierte Kohle
Dreierofen . .	36 *kg*
Viererofen . .	30·5 „
Fünferofen .	26·5 „
Sechserofen .	23·5 „
Siebenerofen .	21·1 „
Achterofen .	19·1 „
Neunerofen .	17·1 „

Gestehungskosten des Leuchtgases in Paris (1885)

Pro 100 m^3 Gas entfallen:

333 *kg* Steinkohle à Frs. 23·50	Frs.	7·80
70 „ Koke à „ 24·—	„	1·70
Arbeitslöhne	„	1·—
10% Amortisation	„	—·33
Erhaltungskosten	„	—·67
Summe .	Frs.	11·50

*) Die Daten für Fünfer-, Sechser- und Achteröfen sind nicht experimentell festgestellt, sondern interpoliert.

Übertrag	Frs.	11·50
Hievon ab: Verkaufspreis von Teer, Ammoniakwasser und Koke	„	8·08
Gestehungskosten .	Frs.	3·42

Der Verkaufspreis des Gases beträgt in Paris Frs. —·30 pro 1 m^3, wovon die Stadt Frs. —·15 erhält. Somit beträgt der Reingewinn pro 100 m^3 Gas 15·00 — 3·42 = 11·58 Frs.

Vergleich zwischen Retortenöfen mit direkter Kokefeuerung und solchen mit Gasfeuerung.

Zusammensetzung der verwendeten Koke:

hygroskopisches Wasser .	6 %
Asche	10 %
Wassergehalt	1 %
Schwefel	1 %
Stickstoff	0·5 %
Kohlenstoff	81·5 %
	100·0 %

Brennwert 6500 Cal. pro 1 *kg.*

Zur Berechnung der Wärmemenge, welche zur Erhitzung und Destillation aufgewendet werden muß, kann man (nach Le Chatelier) den Ausdruck

$$\frac{L}{t + 273} = 0{\cdot}021$$

benützen, worin L die latente Destillationswärme in großen Calorieen pro 1 Mol. und t die Destillationstemperatur in ° C bedeutet.

Nach den Erfahrungen der Compagnie Parisienne du gaz beträgt der Strahlungsverlust der Öfen pro Stunde und 1 m^2 Mauerwerk

bei einer Mauerstärke von 0·33 *m* . . 3500 Cal.
„ „ „ „ 0·50 *m* . . 1800 Cal.

während der Wärmeinhalt der Koke nach den Bestimmungen von Duchesne und Bijue Duval pro 1 *kg* beträgt:

bei	0° C	0 Cal.	bei	500° C	153 Cal.
„	100° C	22 „	„	700° C	232 „
„	200° C	47 „	„	900° C	325 „
„	300° C	79 „	„	1100° C	424 „

Hieraus berechnet sich die spezifische Wärme der Koke zwischen 0° und 300° zu

$$\frac{dq}{dt} = 0{\cdot}16 + 0{\cdot}64 \frac{t}{1000};$$

zwischen 200 und 1000°:

$$\frac{dq}{dt} = 0{\cdot}30 + 0{\cdot}20 \frac{t}{1000}.$$

Für die weitere Vergleichung zwischen Öfen mit Rost- und mit Gasfeuerung wollen wir annehmen, daß die zur Gaserzeugung verwendete Steinkohle 6·6% Sauerstoff enthalte.

a) Öfen mit direkter Kokefeuerung.

Um 100 *kg* Steinkohlen zu destillieren, müssen 0·560 *hl* Koke à 40 *kg*, also zusammen 22·40 *kg* Koke verfeuert werden. Dieselben enthalten 17·5 *kg* Kohlenstoff und geben bei ihrer vollständigen Verbrennung 145 000 Cal.

Da jedoch 5% dieser Koke unverbrannt in den Aschenfall gelangen, verringert sich unsere Wärmeproduktion um rund 7000 Cal.

Wir erhalten somit durch die Verbrennung . . .	138 000 Cal.
durch die Zersetzung der Steinkohle	15 000 „
also zusammen . .	153 000 Cal.

Die Zusammensetzung und der Wärmeinhalt der Verbrennungsgase berechnet sich wie folgt:

CO_2	0·16 Mole	enthalten bei	1000° C	2·03 Cal.
$N_2 + O_2$	0·85 Mole	„ „	1000° C	6·20 „
H_2O	0·06 Mole	„ „	1000° C	1·27 „
			Summe . .	9·50 Cal.

Die Gewichtsmenge Kohlenstoff, die in 1 Mol (= 22·42 *l*) der Verbrennungsgase enthalten ist, berechnet sich leicht in folgender Weise:

Molekulargewicht × Zahl der Mole = Gramme
12 × 0·16 = 1·925 *g* Kohle.

Die 17 500 *g* Kohlenstoff, welche nach dem Früheren verbrannt werden mußten, um 100 *kg* Steinkohle zu destillieren, geben daher

$$\frac{17\,500\,(1 - 0{\cdot}05)}{1{\cdot}925} = 8700$$ Mole Verbrennungsgase. Wir haben somit folgende Wärmeverteilung:

Die 1000° warmen Gase entführen . . .	83 000 Cal.
Die gebildete Koke enthält	25 500 „
Die flüchtigen Stoffe	18 000 „
Die Asche	1 300 „
Strahlungsverlust (berechnet)	23 500 „
Summe . .	151 300 Cal.
während die verbrannten 17·5 *kg* Kohlenstoff liefern	151 000 Cal.

Der Unterschied zwischen beiden Werten beträgt somit etwa 1·5%.

b) Öfen mit Gasheizung.

Bei Öfen mit Gasheizung werden pro 100 *kg* destillierter Kohle statt der obigen 22·4 *kg* nur 15 *kg* Koke verbrannt.

Die Zusammensetzung der Rauchgase ist hier folgende:

Kohlensäure	18·3%
Sauerstoff	1·8%
Stickstoff	79·8%
Wasser *)	8·0%
Summe . .	108·0%

Verbrennungswärme der Koke . .	95 000 Cal.
Zersetzungswärme der Kohle . . .	15 000 „
Summe . .	110 000 Cal.

Anderseits haben wir:

Wärmeentgang durch die Essengase . . .	35 000 Cal.
„ „ die Koke	25 500 „
„ „ den Teer	18 000 „
„ „ die Asche	1 000 „
Strahlungsverlust im Ofen	18 000 „
„ „ Generator	6 100 „
„ „ Rekuperator . . .	2 400 „
Summe . .	106 000 Cal.

Die Übereinstimmung ist hier weniger gut als im vorigen Falle, was vermutlich von zu niederer Schätzung des Strahlungsverlustes herrühren dürfte.

Ökonomie der Gasfeuerung:

1 Gasofen kostet pro Retorte

bei direkter Kokeheizung etwa . .	Kr 1250.—
bei Gasheizung etwa	Kr 2400.—

Dafür halten im letzteren Ofen die Retorten ungefähr doppelt so lange als im ersteren, wodurch die höheren Anlagekosten kompensiert werden.

Die Brennstoffersparnis beim Gasofen beträgt

$$\frac{22{\cdot}4 - 15}{22{\cdot}4} \times 100 = 33\ \%.$$

In Wirklichkeit ist die Ersparnis beim Gasofen jedoch noch größer, weil man minderwertigen und daher billigeren Brennstoff verwenden kann. Rechnet man den Wert dieses billigen Brennstoffes halb so groß als den Verkaufspreis der Koke, so verdoppelt sich somit der oben berechnete Nutzen.

Anmerkung. Zur Berechnung der Rekuperatoren muß die spezifische Wärme der Ziegel bekannt sein. Dieselbe beträgt pro 1 *kg* Ziegelmauerwerk

*) Die Gasanalyse gibt die Zusammensetzung des trockenen Gases, der Wassergehalt derselben wurde daher zu 100% hinzugerechnet.

$$\frac{dq}{dt} = 0{\cdot}20 + 0{\cdot}000062\ t.$$

Der Wärmeinhalt der Ziegel ist somit zwischen 0° und t°

$$q_0^t = 0{\cdot}20\,t + 0{\cdot}000062\ t^2$$

(Fig. 89). Für niedere Temperaturen kann man den einfachen Ausdruck

$$q_0^t = 0{\cdot}20\ t$$

wählen, der eine Tangente an die wahre Kurve bei t = 0° C darstellt. Die Compagnie Parisienne du gaz benützt hingegen die Gleichung

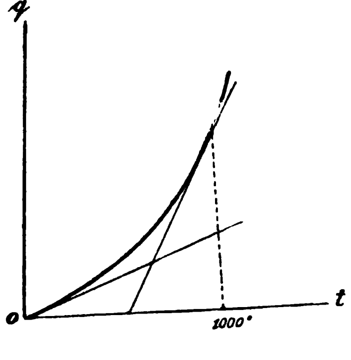


Fig. 89.

$$q_t^0 = 0{\cdot}285\ t - 23,$$

d. i. eine Tangente an die Kurve bei dem 1000° C entsprechenden Punkte.

VII. Kapitel.

Reinigung des Gases.

Das aus den Retorten entströmende Gas enthält beträchtliche Mengen von Teer- und Wasserdämpfen, ferner Kohlensäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Cyanverbindungen, etc. Die Entfernung dieser Stoffe erfolgt teils auf mechanischem, teils auf chemischem Wege.

A. Vorrichtungen zur Entfernung der teerigen und wässerigen Destillationsprodukte.

Man unterscheidet:

1. Die Vorlage oder Hydraulik.
2. Die Kühler oder Kondensatoren.
3. Die Teerabscheider.

1. Die Vorlage oder Hydraulik.

Sie hat den doppelten Zweck: einerseits die am leichtesten kondensierbaren Kondensationsprodukte zu sammeln, anderseits aber als hydraulischer Verschluß der Retorten zu dienen, um das Zurückströmen des Gases aus der Leitung beim Öffnen einer Retorte zu verhindern.

Die Zuleitung des Gases von der Retorte zur Hydraulik erfolgt durch ein am Retortenmundstück aufsitzendes Steigrohr, das

daran anschließende Sattelrohr und durch das Tauchrohr, das in die Hydraulik hineinreicht und den hydraulischen Verschluß bewirkt (Fig. 90).

Die Steigrohre werden entweder aus Gußeisen (150—160 *mm* lichte Weite) oder aus Schmiedeeisen hergestellt (150—175 *mm* Weite). Die Weite der Tauchrohre schwankt, je nach der Größe der Retorten, zwischen 100 und 160 *mm*.

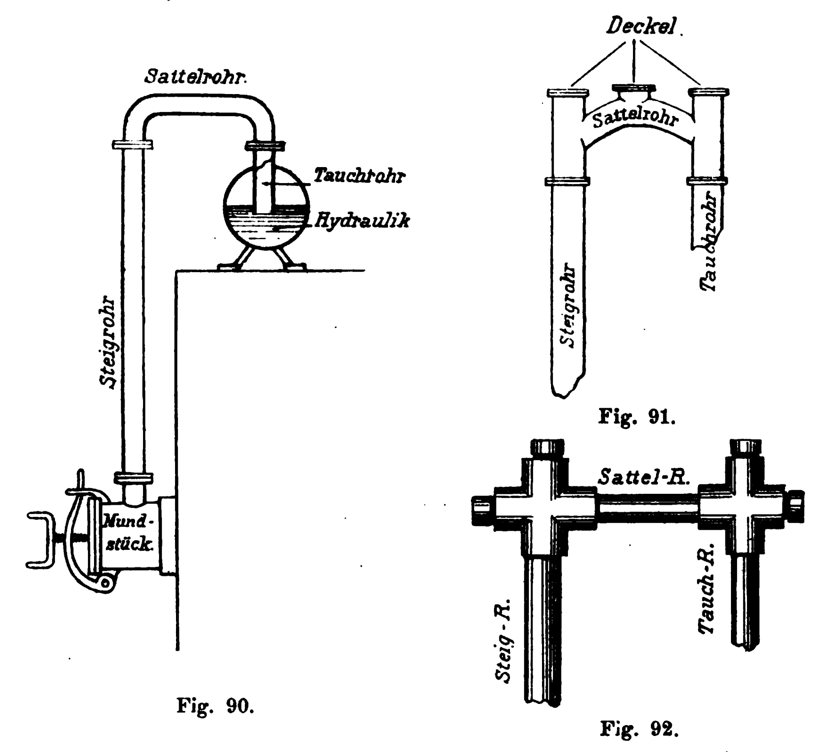


Fig. 90.

Fig. 91.

Fig. 92.

Um Verstopfungen durch Teerabsätze entfernen zu können, sind die Sattelrohre gewöhnlich mit Putzöffnungen versehen, die durch Deckel verschlossen werden (Fig. 91). Für kleine Ölgasanlagen kann die Verbindung zwischen Steig-, Sattel- und Tauchrohr auch mittels zweier Kreuzstücke (Fig. 92) hergestellt werden, deren vier freie Enden mit Pfropfen verschlossen sind und die Reinigung der Rohre gestatten.

Beim Anheizen des Ofens erwärmen sich die Steigrohre allmählich und dehnen sich aus. Bei ganz kleinen (Ölgas-) Anlagen reicht die Nachgiebigkeit der Rohre selbst hin, diese Ausdehnung unschädlich zu machen; bei größeren Anlagen hingegen muß dafür

Sorge getragen werden, diese Ausdehnung in geeigneter Weise zu kompensieren. Zu diesem Zwecke macht man die Steigrohre aus zwei Stücken, die in der Längsmitte durch eine Muffe verbunden sind (Fig. 93). Am Grunde der Muffe liegt ein Holzring, auf dem die obere Hälfte des Steigrohres aufsteht. Der Zwischenraum zwischen Muffe und oberem Steigrohre wird mit Lehm, etc. abgedichtet. Wenn sich das Steigrohr erwärmt, brennt der Holzring weg, die beiden Rohrhälften schieben sich ineinander und die Länge des Steigrohres bleibt ziemlich ungeändert.

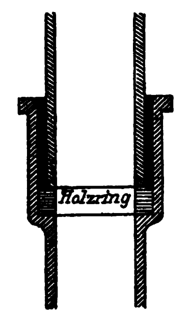
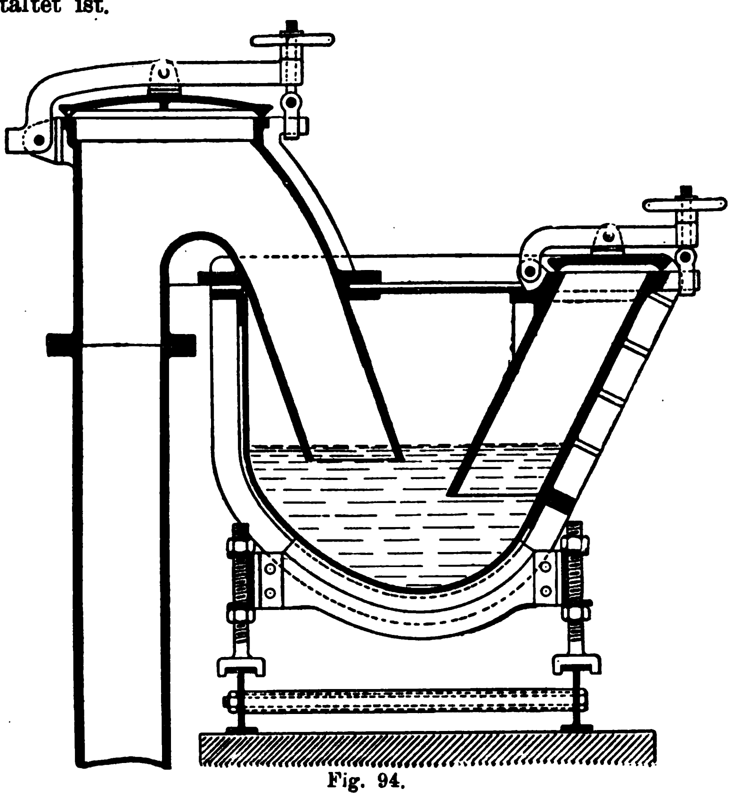


Fig. 93.

Die Verbindung zwischen Mundstück, Steigrohr, Sattel- und Tauchrohr wird (bei größeren Anlagen) mittels Flanschen hergestellt.

Die Tauchrohre sämtlicher Retorten einer Ofenbatterie münden in die gemeinsame, ober dem Ofen horizontal liegende Vorlage, die zylindrisch oder ʊ-förmig gestaltet ist.


Fig. 94.

Da durch Teerverdickungen Betriebsstörungen eintreten könnten, muß die Vorlage — um solche entfernen zu können — leicht zugänglich sein. Man erreicht dies durch seitlich angebrachte Reinigungsöffnungen (Reinigungskästen), deren Konstruktion aus Fig. 94 und 95 ohne weiteres ersichtlich ist.

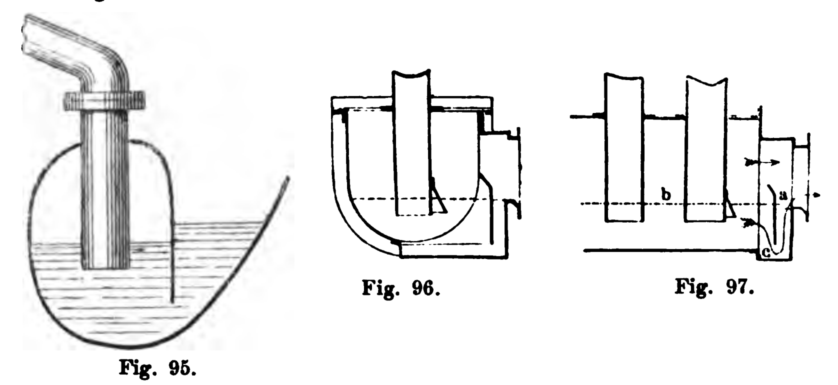


Fig. 95. Fig. 96. Fig. 97.

Die Tauchhöhe der Tauchrohre betrug früher bis 100 *mm*, während man selbe jetzt meist mit 50 bis 60 *mm*, ja selbst nur mit 25—40 *mm* wählt; sie hängt übrigens vom Verhältnisse der Querschnitte von Tauchrohren und Vorlage ab und kann um so kleiner genommen werden, je größer letzterer Querschnitt gegen ersteren wird. Übrigens soll die Gesamtfläche der Sperrflüssigkei in der Vorlage (inklusive Tauchrohren) 11—13mal so groß genommen werden als die Summe der Querschnitte der zugehörigen Tauchrohre.

Die Sattelrohre müssen so hoch über der Vorlage liegen, daß die Flüssigkeit in keinem Falle aus der Vorlage in die Retorte zurücksteigen kann (0·5 bis 1 *m*).

Die flüssigen und gasförmigen Destillationsprodukte, die sich in der Vorlage zufolge der eintretenden Abkühlung kondensieren, müssen aus derselben abgeleitet werden; von letzterem muß jedoch stets so viel zurückbleiben, daß der hydraulische Verschluß hergestellt ist. Diese Ableitung geschieht entweder durch ein einziges gemeinsames Rohr, oder durch zwei getrennte Rohre (eines für das Gas, das andere für die flüssigen Kondensationsprodukte). In beiden Fällen trachtet man aber, den Teer (um eine Verdickung desselben bei zu langem Aufenthalte in der Retorte zu vermeiden) vom Boden der Hydraulik aus abfließen zu lassen.

Beispiele:

a) Hydraulik mit gemeinsamem Abflußrohr.

α) Am Ende der Vorlage (Fig. 96, 97);

β) An der Längswand der Vorlage (Fig. 98 und 99).

b) Hydraulik mit getrennten Rohren für Gas und flüssige Kondensationsprodukte:

α) Am Ende der Vorlage (System Drory, Fig. 100);

β) an der Längswand der Vorlage (Fig. 101).

Bei Fig. 98, 99 und 101 läßt sich die Höhe des Flüssigkeitsnive aus in der Vorlage mittels eines verstellbaren Schiebers regulieren.

Fig. 98.

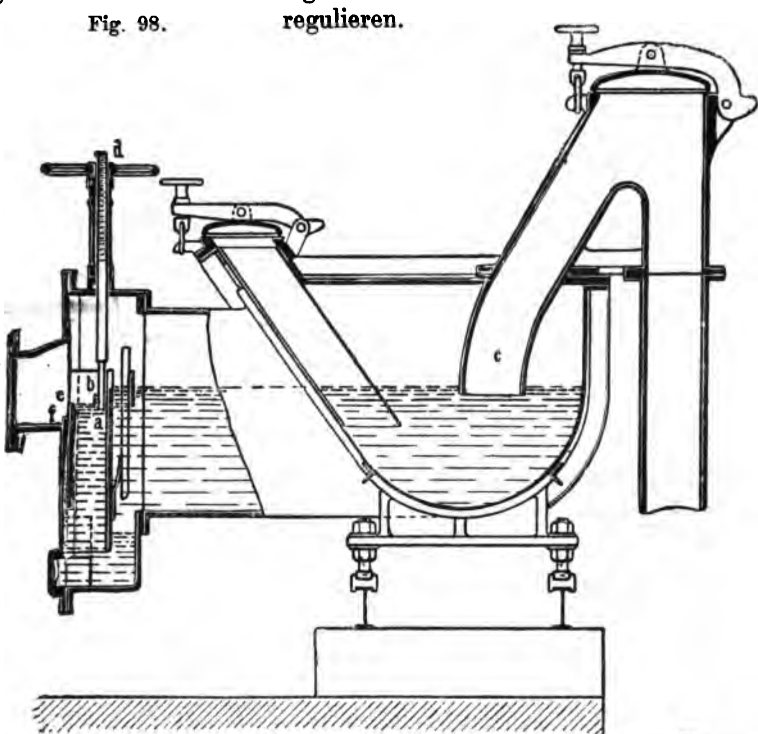


Fig. 99.

Die Verdichtung der Fugen gußeiserner Vorlagen geschieht mit Eisenkitt, der aus 80% Bohrspänen, 2% Salmiak, 1% Schwefel, 10% gestoßener und gesiebter Schamottemasse, 4% ungebranntem Ton und Wasser hergestellt wird.

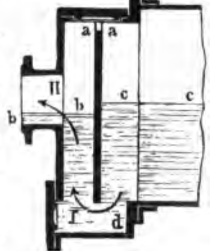


Fig. 100.

2. Kühler oder Kondensatoren.

Aus der Vorlage tritt das Gas mit einer Temperatur von etwa 70° C (selten mehr) aus

und muß nun bis auf die Bodentemperatur (10—12° C) abgekühlt werden, wobei die Hauptmenge von Teer und Ammoniakwasser kondensiert wird. Zu diesem Zwecke wird das Gas durch Leitungen, in denen sich wieder Teer kondensiert, zu den Kühlern oder Kondensatoren geführt. Wie Grahn gezeigt hat,*) spielt bei der Abscheidung der Kondensationsprodukte eine Verringerung der Geschwindigkeit des Gasstromes sowie plötzliche Richtungsänderungen desselben eine wichtige Rolle**), da die teerigen und wässerigen Destillationsprodukte hier größtenteils nicht mehr als Dampf, sondern in Tröpfchenform vorhanden sind.

Gewöhnlich werden mehrere Kühler hintereinander geschaltet, doch muß dafür Sorge getragen werden, daß — im Falle von Betriebsstörungen — jeder einzelne Kühler nach Belieben ausgeschaltet werden kann.

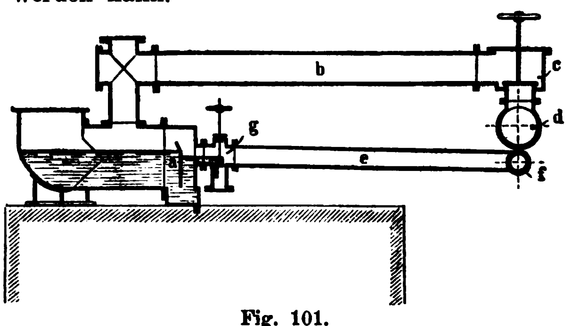


Fig. 101.

Man unterscheidet:
a) Kondensatoren mit Luftkühlung und
b) „ „ Luft- und Wasserkühlung.

a) Kondensatoren mit Luftkühlung.

Sie bestehen dem Prinzipe nach aus nebeneinander stehenden vertikalen Rohren, die abwechselnd unten und oben miteinander verbunden sind und durch welche das Gas strömt. Häufig werden dieselben auf einem gemeinsamen Kasten, der durch Zwischenwände abgeteilt ist, aufmontiert (Fig. 102, 103).

Auch hat man ringförmige Kondensatoren vorgeschlagen, die sowohl von außen wie von innen durch Luft gekühlt werden (Fig. 104—106).

b) Kondensatoren mit Luft- und Wasserkühlung.

Die ursprüngliche Form dieser Kühler ist in Fig. 107 und 108 dargestellt. Das Gas strömt durch einen etwa 1 *m* weiten Zylinder

*) Journ. f. Gasbeleuchtung, 1880, p. 702.
**) Ähnliches wurde schon früher in der hüttenmännischen Praxis gefunden.



Fig. 102. (Nach Muspratt.)

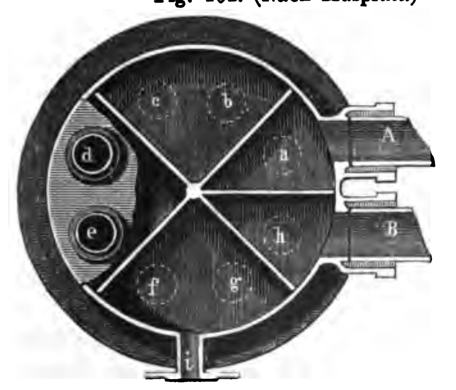
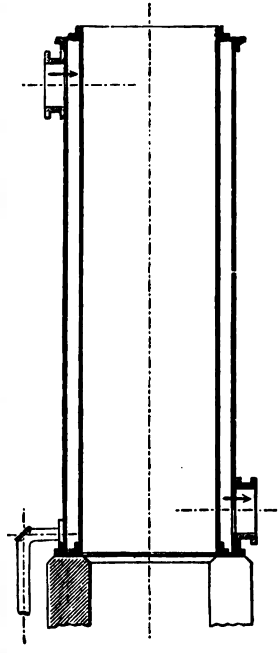
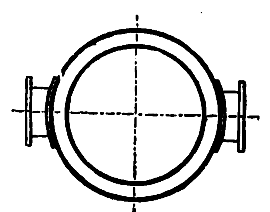
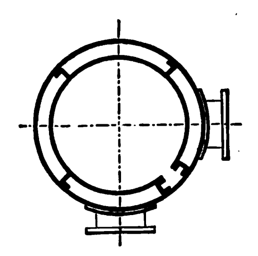


Fig. 103. (Nach Musrpatt.)


Fig. 104.


Fig. 105.


Fig. 106.
(Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik.)

nach aufwärts. Seine Abkühlung erfolgt an der Zylinderfläche durch die Außenluft, im Innern aber durch Kühlwasser, das in 80—150 *mm* weiten Rohren den Zylinder durchfließt. Später wurde der Zylinder von der Berlin-Anhaltschen Maschinenfabrik durch

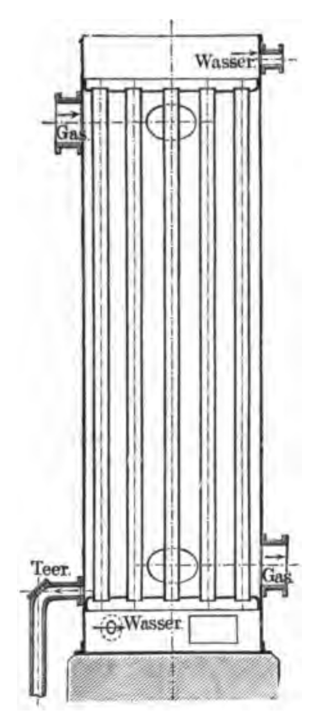


Fig. 107.

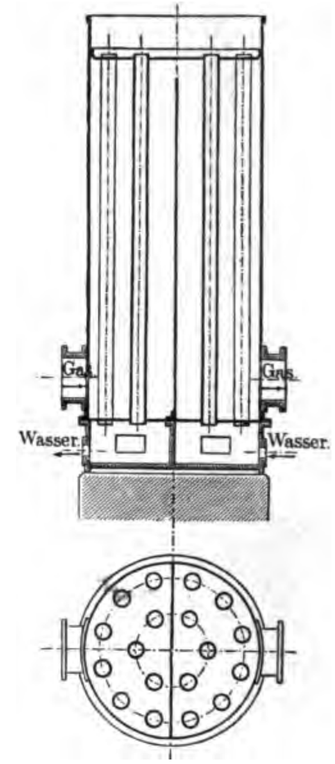


Fig. 109.

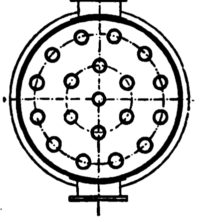


Fig. 108. (Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik.)

eine vertikale Scheidewand in zwei Hälften geteilt (Fig. 109), so daß das Gas in der einen Apparathälfte nach aufwärts, in der anderen aber nach abwärts strömt, während das Kühlwasser in entgegengesetzter Richtung durch die Röhren fließt. Bei einer dritten Konstruktion endlich ist der ringförmige Raum des Kondensators (Fig. 104—106) von Rohren durchsetzt, durch welche das Kühlwasser fließt.

Namentlich in größeren Gasanstalten ist der Mohr'sche Kühler (Fig. 110) sehr verbreitet, bei dem die Außenkühlung durch Luft, die Innenkühlung durch Wasser besorgt wird. Die

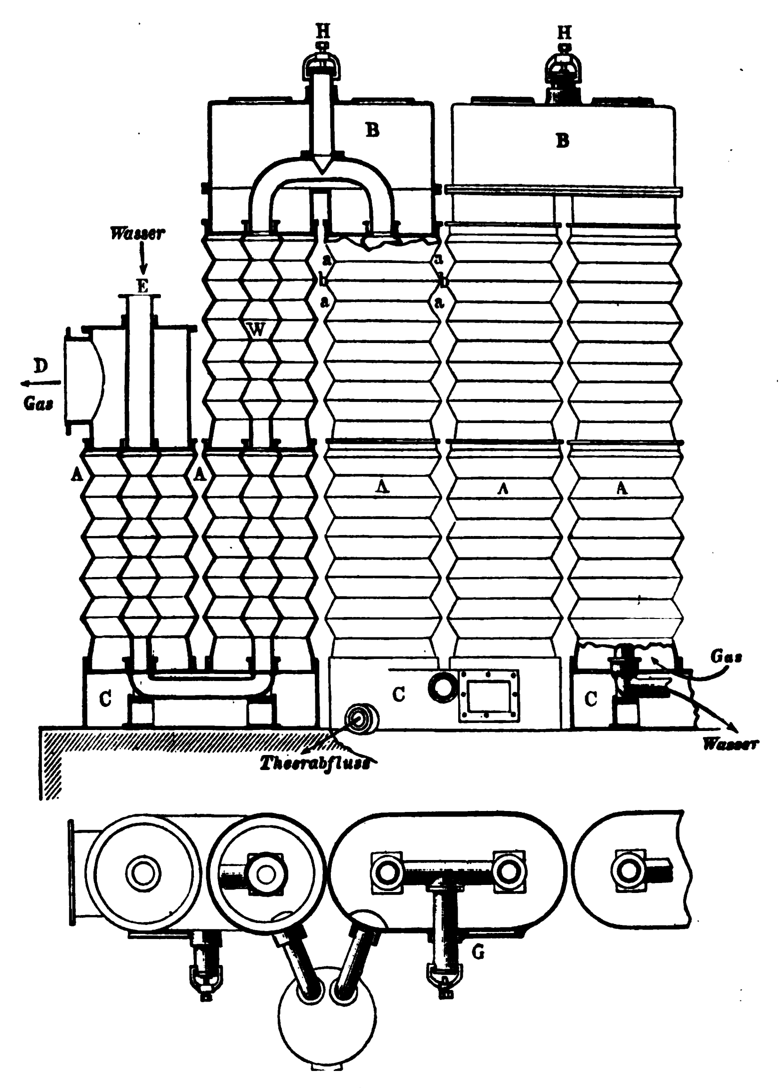


Fig. 110.

zickzackförmig gebogenen Kühlflächen haben einerseits bedeutende Größe, während sie anderseits durch beständige Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen des Gasstromes günstig wirken.

Um den im Kondensator abgeschiedenen Teer abfließen zu lassen und doch den Innenraum des Kühlers von der Außenluft abgeschlossen zu erhalten, passiert der Teer einen sogenannten Teertopf (Fig. 111).

Liegende Wasserkühler, bei denen das Kühlwasser in horizontalen Rohren durch den Kühler fließt, kommen nur selten zur Anwendung.

Für je 100 m^3 tägliche Gasproduktion rechnet man
bei Luftkühlung mindestens 1·5 m^2 Kühlfläche
„ Luft- und Wasserkühlung mindestens 0·8 m^2 „

Bei einer Wasserkühlung braucht man pro 100 m^3 Gasproduktion und 10 m^2 Kühlfläche höchstens 0·3 bis 0·5 m^3 Wasser. Der Kühlerquerschnitt muß so weit dimensioniert werden, daß das Gas den Kondensator mit sehr geringer Geschwindigkeit passiert.

Zur Berechnung von Kondensatoren können die folgenden von Perinini*) aufgestellten Formeln dienen:

a) Für den Röhrenkondensator:

$$F = \frac{G}{c}\left[(\alpha + \beta\,\Theta)\,2{\cdot}3 \log \frac{T_0 - \Theta}{T_1 - \Theta} + \beta\,(T_0 - T_1)\right];$$

b) für den ringförmigen Luftkondensator:

$$F = \frac{G}{c_1 + m\,c_2}\left[(\alpha + \beta\,\Theta)\,2{\cdot}3 \log \frac{T_0 - \Theta}{T_1 - \Theta} + \beta\,(T_0 - T_1)\right];$$

c) für den Wasserkühler:

α) wenn die Wassermenge so groß ist, daß sich die Temperatur t derselben nicht merklich ändert:

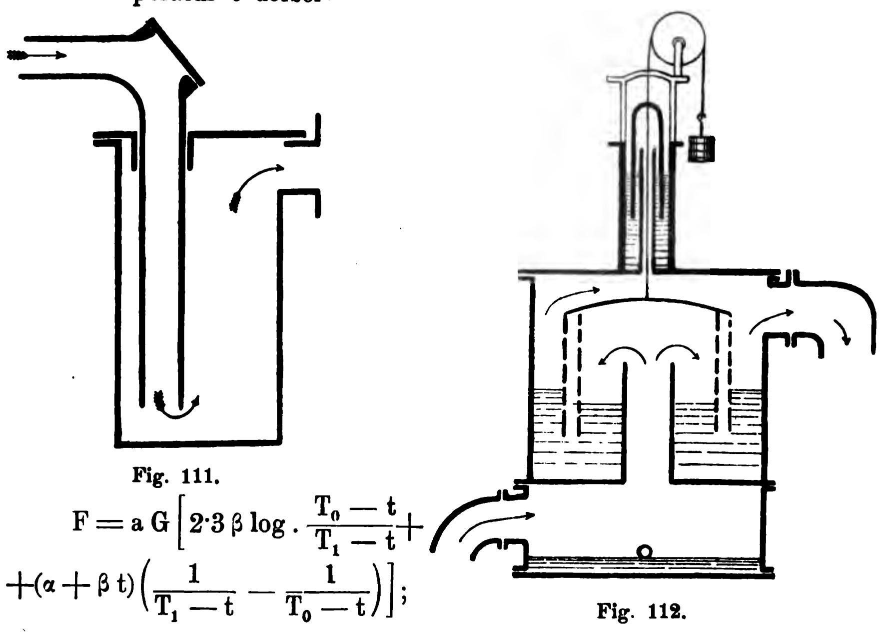


Fig. 111.

$$F = a\,G\left[2{\cdot}3\,\beta \log . \frac{T_0 - t}{T_1 - t} + (\alpha + \beta\,t)\left(\frac{1}{T_1 - t} - \frac{1}{T_0 - t}\right)\right];$$

Fig. 112.

*) Journ. f. Gasbeleuchtung 1880, p. 568.

β) für einen Wasserkühler mit beschränkter Wassermenge:

$$Q = \frac{G \cdot p\,(T_0 - T_1)}{t_0 - t_1}$$

$$F_w = \frac{a\,G\,p\,(T_0 - T_1)}{(T_0 - t_0)\,(T_1 - t_1)}.$$

In diesen Formeln bedeutet:

T_0 die Temperatur des eintretenden Gases.
T_1 „ „ „ austretenden „
Θ „ Lufttemperatur.
t „ konstante Kühlwassertemperatur.
t_0 „ Temperatur des austretenden Kühlwassers.
t_1 „ „ „ eintretenden „

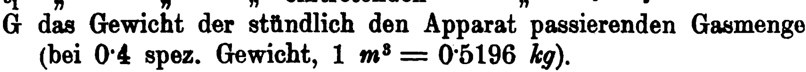


Fig. 113.

G das Gewicht der stündlich den Apparat passierenden Gasmenge (bei 0·4 spez. Gewicht, 1 m^3 = 0·5196 *kg*).
F die Kühlfläche in m^2.
$\alpha = 0{\cdot}6$ jene Wärmemenge, welche 1 *kg* Gas entzogen werden muß, um es um 1° C abzukühlen.
$\beta = 0{\cdot}09$ die mit der Gastemperatur veränderliche Kondensationswärme sowie die zur Abkühlung des bereits kondensierten Teeres und Wassers erforderliche Wärmeentziehung.
c den Transmissionskoeffizienten (Anzahl der Kalorieen, die bei 1° Temperaturgefälle stündlich durch 1 m^2 Kühlfläche passieren).
c_1 den Transmissionskoeffizienten des äußeren Zylinders.
$c_2 = 9$ den Transmissionskoeffizienten des inneren Zylinders.
F_1 die Fläche des äußeren Zylinders.
F_2 „ „ „ inneren „
$m = \frac{F_2}{F_1}$.
$a = 0{\cdot}2$ eine Konstante.
F_w die Wasserkühlfläche.
Q das Gewicht der stündlich nötigen Wassermenge.

3. Teerabscheider (Teerwäscher).

In den Kühlern findet allerdings eine nahezu vollständige Kondensation der Teer- und Wasserdämpfe statt. Da dieselben jedoch in äußerst feiner Verteilung (Nebelform) im Gase enthalten sind, gelingt es in den Kühlern nicht, diese Flüssigkeitsnebel vollständig zur Abscheidung zu bringen. Dies zu erreichen, ist der Zweck des Teerabscheiders oder Teerwäschers, der zuerst vom Pelouze und Audoin konstruiert wurde und daher auch unter dem Namen „Pelouze“ bekannt ist. Seine Leistung beruht auf der Stoßwirkung.

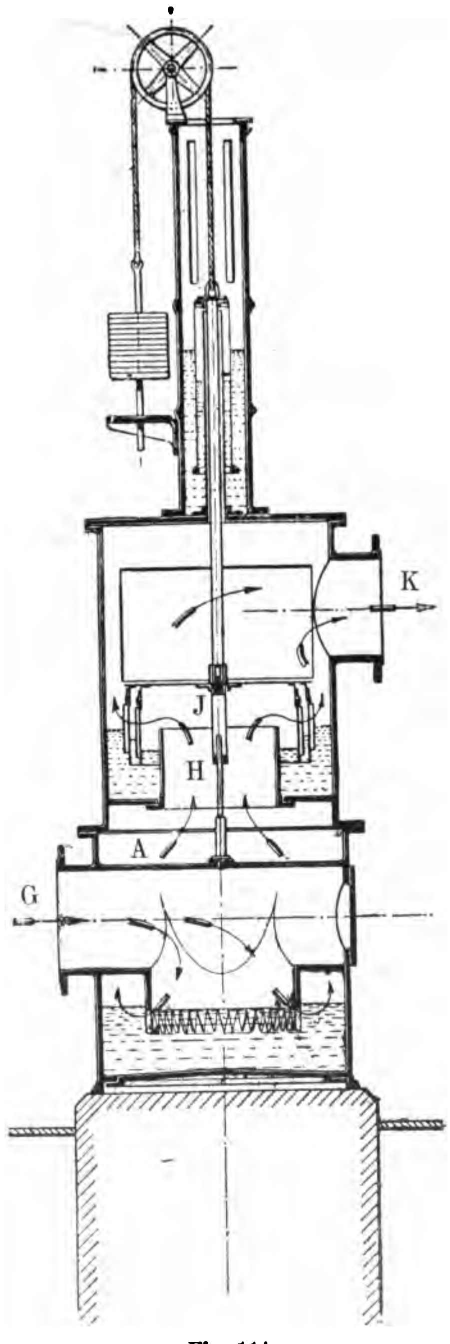


Fig. 114.
(Berlin Anhaltsche Maschinenfabrik.)

Der Teerabscheider (Fig. 112) besteht aus einer doppelwandigen, durch ein Gegengewicht ausbalancierten Blechglocke. Die Innenwand derselben hat feine Löcher, die Außenwand hingegen breite Schlitze, die abwechselnd gestellt sind (Fig. 113), so daß der aus den feinen Löchern ausströmende Gasstrahl auf eine massive Blechwand auftrifft und auf dieser die mitgeführten Teer- und Wassertröpfchen ablagert. Die beiden Wände stehen 2—3 *cm* voneinander entfernt. Es gibt jedoch auch Teerabscheider, deren Glocken zwei solche Doppelwände besitzen. Da die Glocke ausbalanciert ist, reguliert sich der Apparat automatisch.

Anderseits hat man aber auch Teerabscheider konstruiert, bei welchen das Gas nicht nur dem eben besprochenen Einflusse der Stoßwirkung ausgesetzt ist, sondern auch noch eine kleine Flüssigkeitsschicht passieren muß. Derartige Apparate heißen Teerwäscher. In denselben wird natürlich auch ein Teil des in den Gasen enthaltenen Ammoniaks, Schwefelwasserstoffes und der Kohlensäure zurückgehalten. Als Beispiel wählen wir den Teerwäscher von Drory (Fig. 114, 115). Das Gas tritt bei G in den Apparat, pas-

siert die Sperrflüssigkeit, gelangt so in den Raum A und durch H in den Pelouzeapparat J, der, wie früher, ausbalanciert ist. Bei K verläßt das Gas den Apparat wieder.

B. Vorrichtungen zur Entfernung des Ammoniaks aus dem Gase.

Von diesen Vorrichtungen, welche die sogenannte „nasse Reini-

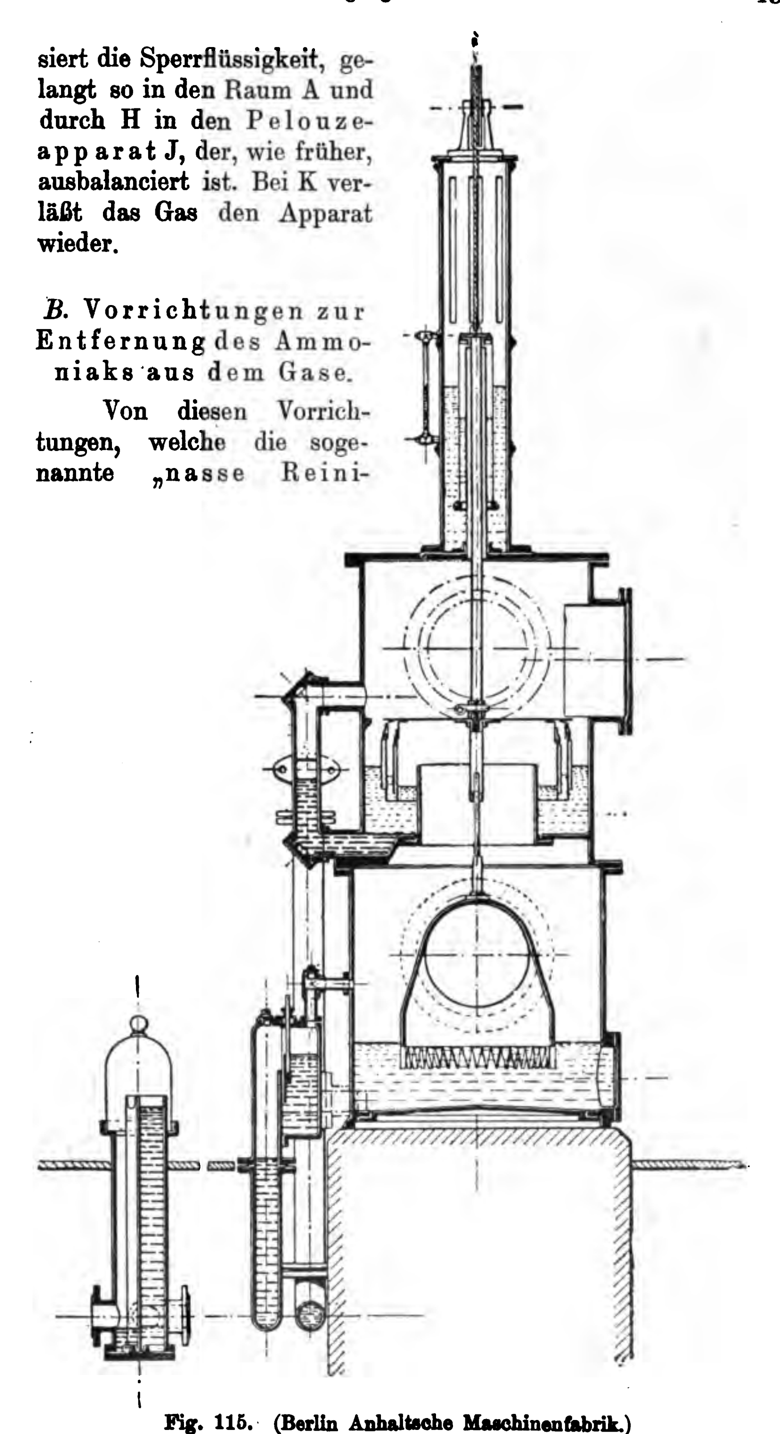
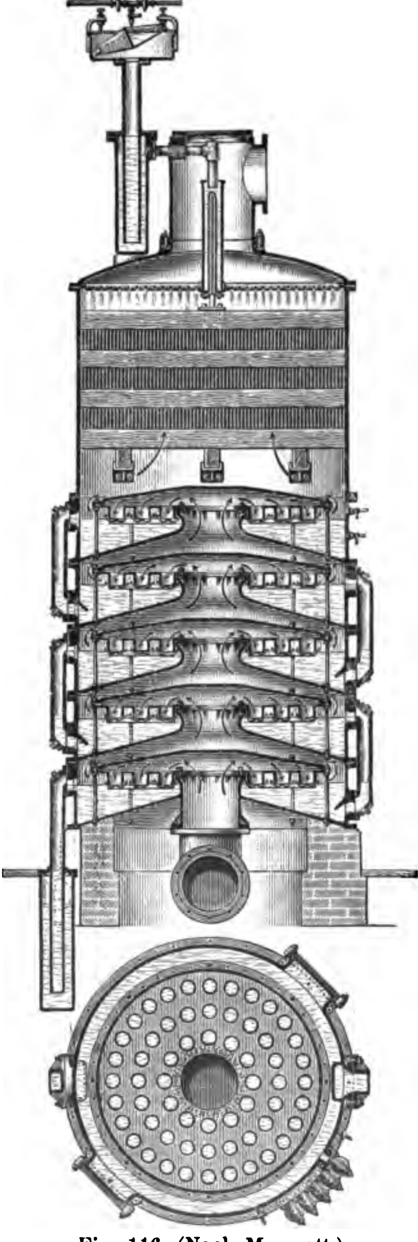


Fig. 115. (Berlin Anhaltsche Maschinenfabrik.)


Fig. 116. (Nach Muspratt.)

gung" des Gases bezwecken,*) unterscheidet man zwei verschiedene Arten:

1. die Gaswäscher und
2. die Scrubber.

Bei den Gaswäschern tritt das Gas in Blasen durch die Flüssigkeit,**) während beim Scrubber das Gas nur oberflächlich mit fein verteiltem Wasser in Berührung kommt.***)

1. Gaswäscher.

Im Prinzipe sind die Gaswäscher mit den früher beschriebenen Teerwäschern identisch, nur bringt man gewöhnlich mehrere derartige Apparate nebeneinander an. Das Wasser fließt von oben in feiner Verteilung zu, sammelt sich im unteren Teile des Apparates und fließt von dort kontinuierlich ab. Das Gas strömt hingegen unten in den Apparat und oben aus demselben (Gegenstromprinzip). Als Beispiel möge der Kolonnenwäscher von Klönner (Fig. 116) aufgeführt werden, in dessen oberem Teile Holzroste angebracht sind.

Die Größe der Gaswäscher wird so bemessen, daß das Gas 7—10 Minuten in denselben verweilt, oder daß auf 100 m^3 täglicher Gasproduktion mindestens 0·5 m^3 Volumen der Gaswäscher kommen.

*) In denselben kommen dort, wo keine Teerabscheider vorhanden sind, auch die letzten Teerreste zur Abscheidung.

**) Das Gas passiert also die Flüssigkeit in feiner Verteilung.

***) Hier passiert also umgekehrt das Wasser in feiner Verteilung das Gas.

2. Scrubber.

Je nach der Art, in welcher die feine Verteilung der Waschflüssigkeit bewirkt wird, unterscheidet man:

α) Scrubber mit Wasserverstäubung,
β) " " festen Einlagen und
γ) " " beweglichen Einlagen.

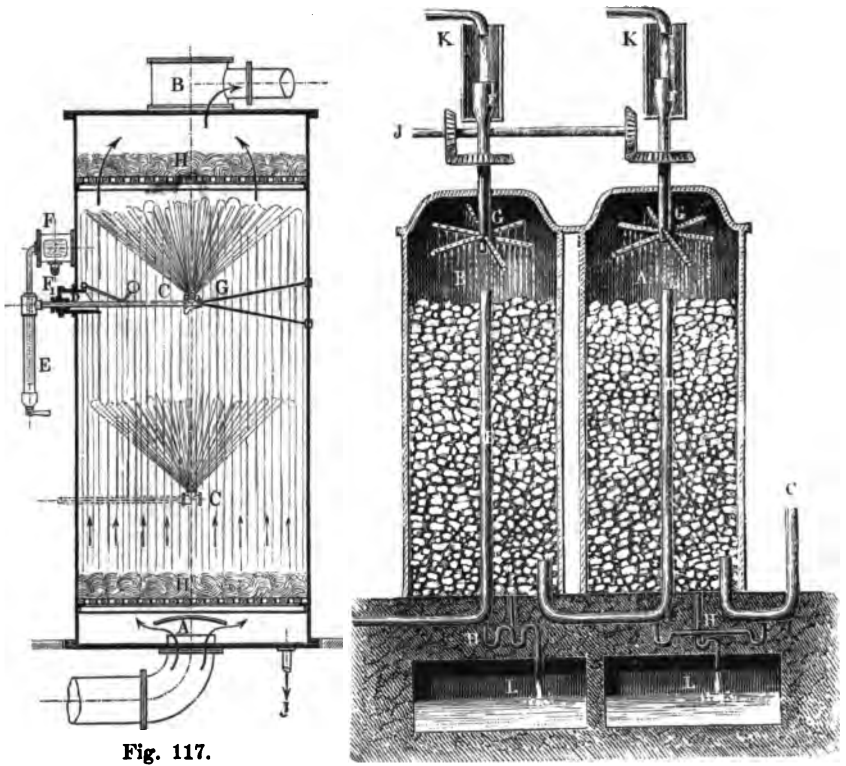


Fig. 117. (Berlin-Anh. Maschinenfabrik.)

Fig. 118. (Nach Muspratt.)

α) Scrubber mit Wasserverstäubung.

Die Verstäubung des Wassers erfolgt entweder dadurch, daß ein 0·5—2 *mm* dicker Wasserstrahl unter starkem Drucke gegen eine konvexe Platte trifft, oder mittels Streudüsen (Körting, Eisele, etc.). Ein derartiger Scrubber ist in Fig. 117 abgebildet.

β) Scrubber mit fester Einlage.

Bei denselben erfolgt die feine Verteilung des Waschwassers dadurch, daß selbes über die festen Einlagen (entgegen dem Gas-

strome) herabrieselt. Je nach der Art dieser Einlagen lassen sich verschiedene Arten dieser Scrubber unterscheiden.

Sehr verbreitet sind die Scrubber mit Kokefüllung (oder Holzspänen, Dornreisern, Ziegelstücken, etc.) (Fig. 118), bei denen das Wasser durch (häufig rotierende) durchlochte Verteilungsrohre oben zufließt und schließlich durch Siphonröhren in die Behälter L gelangt. Das Gas strömt durch C in den ersten Scrubber und gelangt von hier durch D in den zweiten Scrubber, den es durch B verläßt. Um eine zu dichte Lagerung der Koke im unteren Teile, bezw. eine Verstopfung durch noch mitgeführten Teer zu vermeiden, wird die Koke in den Scrubbern manchmal auf Siebböden aus Blech oder auf Holzroste (Horden) gelagert. Der Scrubberraum wird so bemessen, daß auf 1000 m^3 tägliche Gasproduktion 5 bis 6·5 m^3 Scrubberraum kommen, daß das Gas somit 7—10 Minuten in diesen Apparaten bleibt.

In Köln werden acht Scrubber mit Siebeinlagen hintereinander angewendet. In den einzelnen dortigen Reinigungsapparaten werden nach Knublauch pro 1 m^3 Gaswasser abgeschieden:

Apparat	NH_3 *kg*	H_2S *kg*	CO_2 *kg*
Vorlage	10·0	—	—
Kondensator	36·0	4·8	36 9
1. Scrubber	32·0	10·5	25·4
2. „	30·0	9·2	26·0
3. „	27·0	9·8	20·2
4. „	30·0	11·8	20·6
5. „	13·7	7·6	7·6
6. „	10·5	6·9	2·9
7. „	5·6	4·7	0 7
8. „	1·8	—	—

Statt der Kokefüllung verwendet Kunath dachförmig gebogene, nebeneinander gelagerte Blechstreifen mit gezähnten Rändern, Fleischhauer jalousieartig angeordnete Siebbleche, Langen horizontale Böden mit konischen Düsen, etc. Beim Berliner Plattenwäscher (Fig. 119) besteht die Einlage aus auf ihre Kante gestellten, nebeneinander geschichteten Platten in verschiedenen Etagen, die vom Gase abwechselnd von links nach rechts und in entgegengesetzter Richtung durchströmt werden. Das Wasser fließt oben zu und wird mittels eines Kippapparates und der Kappen b gleichmäßig verteilt. In den unteren Etagen dienen diese Kappen gleichzeitig auch als Träger für die Platten. Ein Apparat (den die Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik liefert) für 10000 m^3 Gas

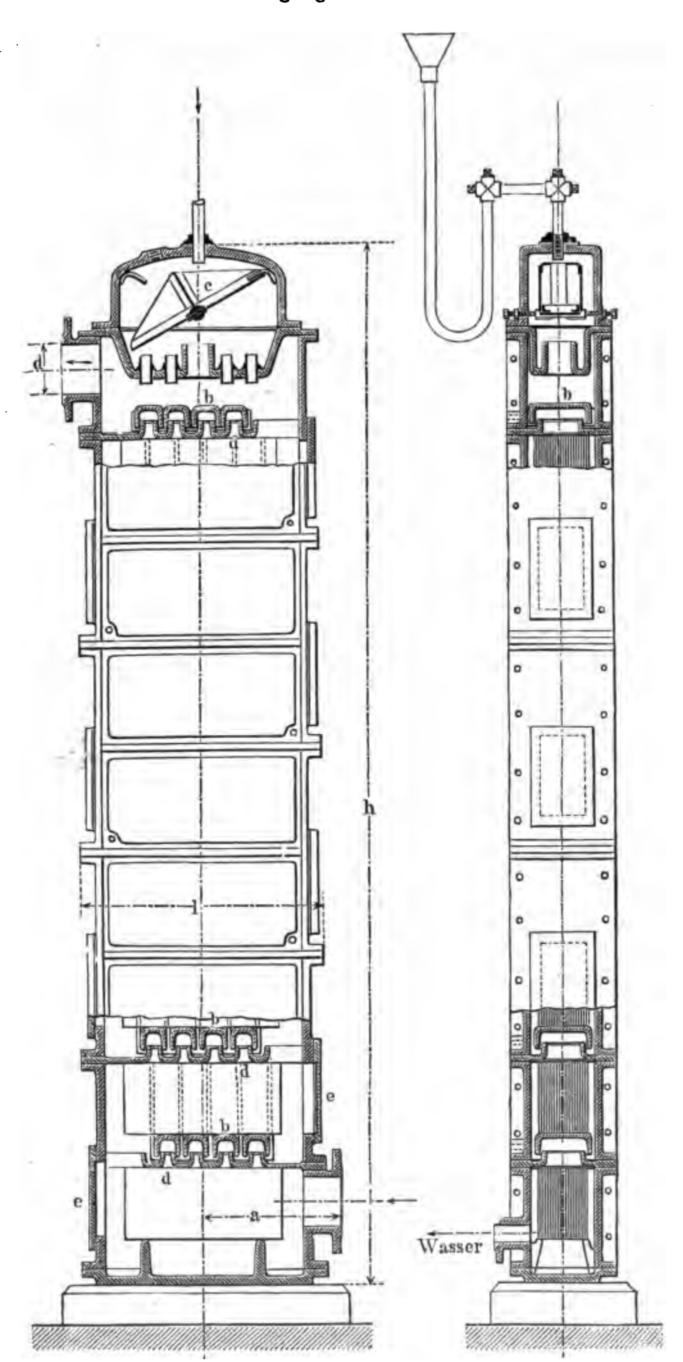


Fig. 119. (Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik.)

in 24 Stunden hat bei 0·84 × 0·62 *m* Grundfläche eine Höhe von 4·32 *m*.

Die Scrubber mit beweglichen Einlagen sollen bei möglichst kleinem Waschwasserverbrauche eine beständige Benetzung der dem Gase dargebotenen Flächen sichern.*) Einer der verbreitetsten, der hieher gehörigen Apparate ist der Standardwäscher von Kirkham, Hulett und Chandler (Fig. 120, 121). Er besteht aus einer Anzahl nebeneinander liegender Zylindertrommeln mit gemeinsamer, horizontal liegender Achse, um welche sich in jeder Trommel ein Schaufelrad dreht, das aus zwei kreisförmigen Blechwänden besteht, zwischen denen als Schaufeln Pakete von Holzstäben eingesetzt sind, deren Stellung (Fig. 122) so gewählt ist, daß das Gas, das in jeder Trommel in der Achsengegend eintritt und zwischen den beiden Blechwänden gegen die Peripherie strömt, durch diese Holzstäbchen nur einen vielfach gekrümmten Weg findet. Diese Schaufelräder tauchen zu ca. ein Drittel ihres Durchmessers in Wasser und machen 2—7 Umdrehungen pro Minute, so daß sie stets naß gehalten werden und dem Gase eine sehr große absorbierende Wasseroberfläche darbieten. Das Gas tritt links in den Apparat, durchströmt ihn in der Richtung der Pfeile und verläßt ihn rechts. Das Wasser durchfließt den Standardwäscher in entgegengesetzter Richtung.

Über die Leistung dieser Apparate geben nachstehend mitgeteilte Versuche Aufschluß, bei denen als Waschflüssigkeit Brunnenwasser benützt wurde:

Versuchsdaten	Bueb (Journ. f. Gasbeleuchtg. 1891, p. 267)	Leybold (Journ. f. Gasbeleuchtung 1898)
Maximale Leistungsfähigkeit des Wäschers m^3	18000	15000
Gasdurchgang in 24 Stunden	15000	8660
Temperatur des eintretenden Gases	14°	10—11°
Menge des ablaufenden Wassers auf 100 m^3 Gas in Litern	21·9	5·62
Stärke desselben in °B	2·8	7·1
Gesamt-Ammoniakgehalt desselben in *g* pro Liter	23·97	40·105
Davon flüssiges Ammoniak	23·63	40·004
Kohlensäure	20·9	53·950
Gesamtschwefel	12·0	2·843

*) Ganz ähnliche Apparate sind auch das Flügelrad von Windhausen und die Theisen'sche Waschtrommel, die schon früher (Technologie der Energieen, II, p. 160—162) ausführlich beschrieben wurden.

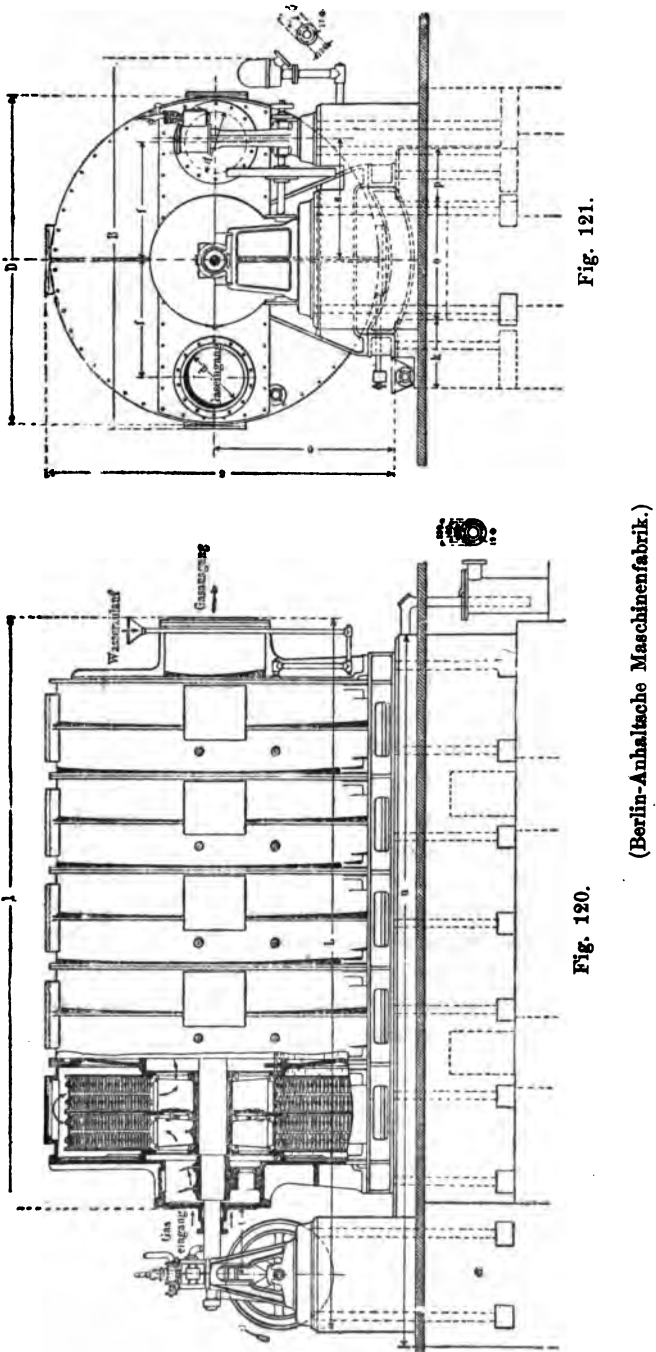


Fig. 120.

Fig. 121.

(Berlin-Anhaltsche Maschinenfabrik.)

Versuchsdaten	Bueb (Journal f. Gasbeleuchtg. 1891, p. 267)		Leybold (Journal f. Gasbeleuchtung 1898)	
Stärke des Wassers in °B und Ammoniakgehalt desselben in *g* pro Liter	°B	g.NH_3	°B	g.NH_3
Kammer I	2·8	23·97	7·1	40·105
„ II	2·0	17·59	4·7	24·150
„ III	1·6	12·49	3·1	14·365
„ IV	1·2	8·50	2·0	8·397
„ V	0·8	5·44	1·0	4·320
„ VI	0·5	3·23	0·5	1·911
„ VII	0·3	1·17	0·1	0·385
100 *m*³ Gas enthielten:				
Ammoniak vor dem Wäscher . *g*	530·0		227·0	
Ammoniak hinter dem Wäscher *g*	4·3		1·4	
Abnahme des Ammoniaks in . %	99·2		99·4	
Aus 100 *m*³ Gas wurden vom Wasser aufgenommen				
Ammoniak . . . . *g*	525·5		225·6	
Kohlensäure . . . . *g*	457·7		303·2	
Schwefel . . . . *g*	262·8		16·0	

Bei Verwendung des schwachen Ammoniakwassers aus der Vorlage statt Brunnenwasser erhielt D r e h s c h m i d t in der Berliner Gasanstalt folgende Durchschnittsergebnisse:

100 *m*³ Gas enthalten Ammoniak:

Vor dem Wäscher	352 *g*
Hinter dem Wäscher	1·9 *g*
Abnahme	99·5 %
Stärke des Wassers in Kammer I .	4·01° B
Stärke des Wassers in Kammer VII .	0·17° B

Nach H a c k beträgt der Wasserverbrauch pro 100 *m*³ Gas 15·3 *l*, wobei das ablaufende Wasser eine Stärke von 4 bis 5° B besitzt; der Druckverlust beträgt nach M e r k e l bei normaler Beanspruchung 4—6 *mm*.

C. Exhaustoren.

Die verschiedenen Apparate, welche das Gas nach seinem Austritte aus den Retorten zu passieren hat, bieten demselben einen nicht unbedeutenden Widerstand, wodurch der Druck in den Gasretorten steigt. Hiedurch werden aber einerseits Gasverluste durch die Poren (und Risse) der Gasretorten bedingt, anderseits aber (infolge des verlängerten Aufenthaltes des Gases in den heißen Retorten)

Zersetzungen des Leuchtgases begünstigt, die eine vermehrte Kohlenstoffabscheidung und eine Veringerung der Leuchtkraft bewirken. Um alle diese Übelstände zu vermeiden, werden nun hinter den Teerabscheidern oder Scrubbern Saugapparate (Exhaustoren) eingeschaltet.

Von solchen kommen folgende drei Typen zur Anwendung:

1. Dampfstrahlgebläse (Injektoren) kommen bei kleinen Anlagen zur Verwendung. Der Apparat (Fig. 123) ist sehr einfach und dauerhaft, aber seine Wirkung ist ziemlich gering. Sie haben ferner den Nachteil, daß das Gas wieder auf 50—55° erwärmt und ihm Dampf beigemischt wird, der etwas Benzol enthält. Das Gas muß somit nochmals abgekühlt und der Dampf kondensiert werden.

Bezeichnet man die Menge des Dampfes mit . . m,
" " " Gases " . . M,

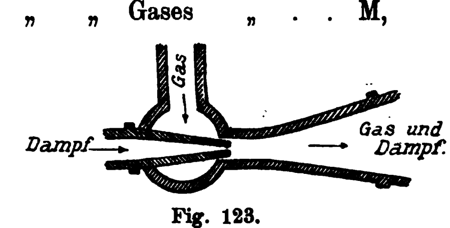
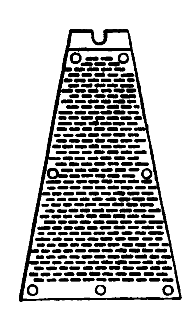


Fig. 123.


Fig. 122.

und die Geschwindigkeiten von Dampf und Gas mit v und V, so ist

$$m V = (M + m) v$$

oder, wenn wir unter h und H die Pressungen von Dampf und Gas verstehen,

$$m \sqrt{h} = (M + m) \sqrt{H}.$$

Ist beispielsweise $h = 4$ at und $H = \frac{1}{50}$ at, so erhalten wir

$$\sqrt{\frac{H}{h}} = \sqrt{\frac{1}{200}}$$

$$= \frac{m}{M + m}$$

$$\cong \frac{1}{14},$$

d. h. um mittels eines Injektors 13 Gewichtsteile Gas fortzuschaffen, ist 1 Gewichtsteil Dampf erforderlich.

Sehr verbreitet ist der Körting'sche Injektor, bei dem der Dampf statt durch eine einzige, durch eine Reihe von übereinandergeschobenen Düsen zuströmt.

2. **Rotierende Exhaustoren** werden in Gaswerken verschiedenster Produktionsgröße sehr häufig verwendet. Am meisten verbreitet, und zwar in verschiedenen Modifikationen, ist der rotierende Exhaustor von Beale (Fig. 124). Er besteht aus einer zylindrischen Trommel, in welcher um eine exzentrisch gelegene Achse ein Zylinder mit zwei Schlitzen rotiert. In diesen Schlitzen befinden sich bewegliche Wände, die durch Nuten in der Trommel gezwungen werden, sich in jeder Stellung an die Trommelwand anzuschließen, und somit das Gas vor sich herzuschieben.

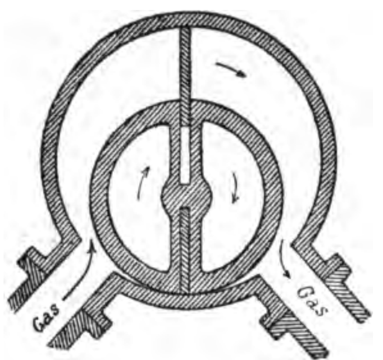


Fig. 124.

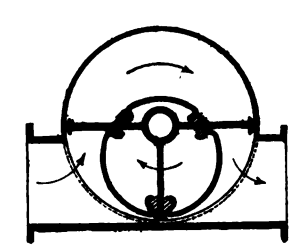


Fig. 125.

Um hiebei auftretende Druckschwankungen (5—20 *mm*) zu verringern (die übrigens nicht störend wirken), hat man derartige Exhaustoren mit drei beweglichen Wänden konstruiert. Ein solcher Exhaustor, wie ihn die Berlin-Anhaltische Maschinenfabrik baut, ist in Fig. 125 dargestellt. Bei demselben sind die verschiebbaren Platten durch ein rotierendes festes Kreuz ersetzt, dessen Drehungsachse mit der Trommelachse zusammenfällt.

Der Beale'sche Gassauger macht (je nach der Gasproduktion 50—100 Umdrehungen pro Minute und liefert bei $1—2^1/_2$ Pferdekräften einen Nutzeffekt von 70 bis 80%. Bezeichnet d den Zylinderdurchmesser, d_1 den Trommeldurchmesser, n die Tourenzahl pro Minute und η den Wirkungsgrad, so ist die stündlich angesaugte Gasmenge

$$Q = n \eta \pi (d^2 - d_1^2).$$

Der von der Berlin-Anhaltischen Maschinenfabrik gebaute Exhaustor gibt eine um 20 – 25% höhere Leistung als ersterer.

3. **Kolbenexhaustoren** (Saug- und Druckpumpen) werden hauptsächlich in großen Gaswerken benützt. Es sind dies Zylinderpumpen, von denen — um Druckschwankungen zu vermeiden --

gewöhnlich drei so miteinander verbunden sind, daß sich jede derselben im gleichen Momente in einer anderen Phase befindet.

D. Regulatoren.

Die bei der Leuchtgasfabrikation in der Zeiteinheit gewonnene Gasmenge unterliegt erheblichen Schwankungen. Gehen nun die Exhaustoren gleichmäßig, so werden sie einmal — wenn

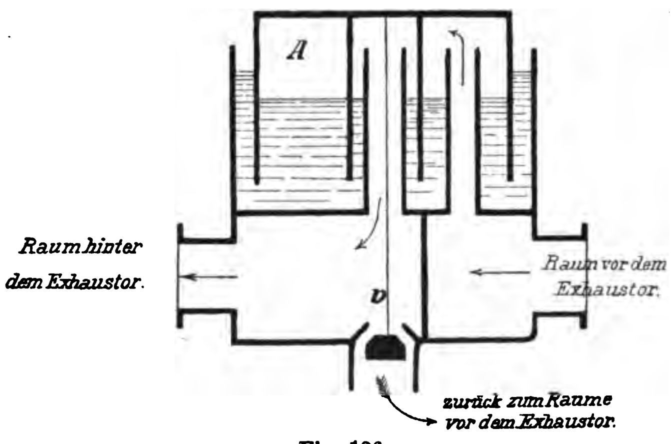


Fig. 126.

die Gasproduktion klein ist — zu stark saugen und daher ein Vakuum geben, so daß Luft eintreten und Explosionsgefahr entstehen könnte.

Ist jedoch die Gasproduktion eine große, so wird die Saugwirkung der Exhaustoren zu klein sein, wodurch Gasstauungen und ein Überdruck des Gases hervorgerufen wird, was ein Auswerfen der hydraulischen Verschlüsse und Gasverluste bewirken kann.

Es ist somit notwendig, die Saugwirkung der Exhaustoren der jeweiligen Gasproduktion anzupassen, wozu die Regler oder Regulatoren dienen.

Man unterscheidet zwei Arten derselben:

1. die Umlaufregler oder Beipaßregler und
2. die Druckregler.

1. Die Umlaufregler bezwecken einen Druckausgleich zwischen dem Gasraume vor und hinter dem Exhaustor, wobei der Gang des letzteren unverändert bleibt. Das Prinzip derselben ist aus Fig. 126 ersichtlich.

Die Glocke A wird durch den Druck des vor dem Exhaustor befindlichen Gases schwimmend erhalten. Sinkt dieser Druck, so

sinkt auch die Gasglocke, es öffnet sich das Ventil v und es tritt Gas aus dem Raume hinter dem Exhaustor in jenen vor demselben zurück, wodurch ein Druckausgleich bewirkt wird. Bei diesen Regulatoren ist somit ein Teil der vom Exhaustor geleisteten Arbeit nutzlos.

2. Die Druckregler hingegen bezwecken die Regulierung des Exhaustorenganges, bezw. des Ganges der Dampfmaschine, welche letztere in Bewegung setzt. Das geschieht etwa in folgender Weise. Eine Glocke (Fig. 127) steht mit der Vorlage in Verbindung. Steigt der Druck in letzterer, so steigt auch die Glocke und wirkt (beispielsweise mittels eines Hebels, wie in der Figur) auf die Drosselklappe der Dampfmaschine, wodurch ihr Gang reguliert wird.

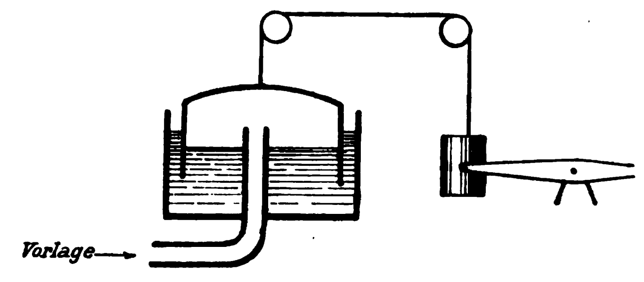


Fig. 127.

E. Reinigung der Gase auf trockenem Wege (Trockenreinigung oder Reinigung).

In dem Stadium der Gasfabrikation, bei welchem wir nun angelangt sind, enthält das Gas noch an Verunreinigungen:

α) in größeren Mengen: Schwefelwasserstoff,
Schwefelkohlenstoff,
unbekannte organische Schwefelverbindungen,
Kohlensäure und
Cyanwasserstoffsäure;

β) in geringeren Mengen: Ammoniak und
Teer.

Der Hauptzweck der trockenen Reinigung ist die Entfernung von Schwefelwasserstoff, Cyan und (besonders in England)*) von Schwefelkohlenstoff.

Da die bei der trockenen Reinigung verwendete Reinigungsmasse bei Gegenwart beträchtlicherer Teermengen im Gase bald

*) Weil dort schwefelreichere Kohlen als am Kontinente vergast werden.

unwirksam würde, soll der Teer schon vorher möglichst sorgfältig entfernt sein, und das ist auch bei Anwendung von Teerabscheidern und Teerwäschern tatsächlich der Fall. Anderen Falles muß ein Vorreiniger angewendet werden. Derselbe besteht aus einem eisernen Kasten (Fig. 128) mit Eisenblechdeckel und hydraulischem Abschluß, in welchem 4—6 „Horden" (aus Holzstäben gebildete Roste,) übereinander liegen. Der Gaseintritt (links unten) ist gegen obenhin und nach seitwärts durch Blechplatten gegen das Hineinfallen von Reinigungsmasse geschützt. Der Gasaustritt ist oben (in der Figur rechts) angeordnet, er führt das Gas in einer Tasche nach abwärts. Auf den untersten Horden des Vorreinigers liegt Kokeklein, auf den oberen sind Sägespäne ausgebreitet. In diesen Schichten lagern sich die letzten Teerreste ab.

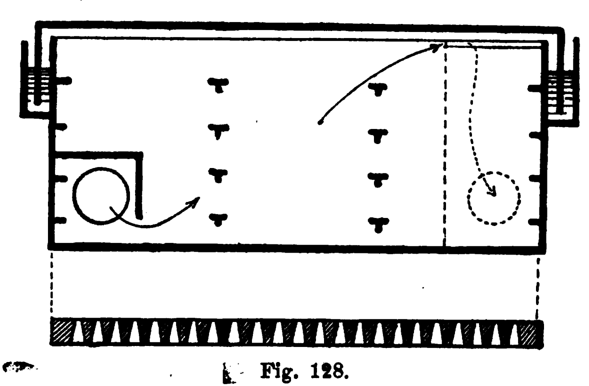


Fig. 128.

Die eigentlichen Reiniger sind ähnlich gestaltet, aber größer dimensioniert. Um die Füllung und Entleerung derselben zu erleichtern, sind (bei großen Anlagen) die Deckel durch Kräne oder durch hydraulische Vorrichtungen heb- und senkbar, und auch noch andere Hilfsvorrichtungen angebracht.

Die Reinigungskästen sind in der Regel aus Gußeisen, die Deckel stets aus Schmiedeeisen hergestellt. Der Wasserverschluß für den Deckel ist so tief zu machen, daß für den größten möglicherweise auftretenden Druck noch genügende Sicherheit für den Verschluß geboten ist. Die Temperatur des Sperrwassers soll 10—12° C betragen. Die Deckel sind mit Lufthähnen von 50—200 *mm* Durchmesser, je nach der Größe der Reiniger, zu versehen; außerdem muß auf jedem Deckel ein Probierhahn vorhanden sein.

Die Horden bestehen meistens aus Latten von ca. 25 *mm* Breite und ca. 7 *mm* Zwischenraum; in kleinen Gasanstalten wendet man auch Weidengeflechte an. Die Masse wird auf den

Horden, deren gewöhnlich vier in einem Reiniger vorhanden sind, in gleichmäßigen Lagen von 120—150 *mm* Stärke aufgetragen.

Die Größe der Reiniger richtet sich nach der Anzahl der zu einem Systeme gehörenden Kasten, nach der Geschwindigkeit des Gases in denselben, sowie nach der Zeitdauer, während welcher das Gas mit der Masse in Berührung bleibt. Die vorteilhafteste Geschwindigkeit ist 5 *mm* pro Sekunde, die aber auf 7 *mm* gesteigert werden kann. Bei ersterer ergibt sich pro 100 m^3 24stündiger Gaserzeugung ein Gesamtquerschnitt der gleichzeitig in Betrieb befindlichen Kasten von 0·7 m^2, bei letzterer von 0·51 m^2; oder pro 100 m^3 ein Querschnitt pro Kasten von

0·23 m^2	bei 5 *mm* Geschwindigkeit	4 Kasten im Systeme
0·17 m^2	„ 7 *mm* „	
0·35 m^2	„ 3·3 *mm* „	3 „ „ „
0·25 m^2	„ 4·6 *mm* „	
0·70 m^2	„ 1·66 *mm* „	2 „ „ „
0·51 m^2	„ 2·3 *mm* „	

Bei Reinigern, welche in der Mitte eine Scheidewand haben, ist jede Abteilung als ein Kasten für sich anzusehen.

Mit Rücksicht darauf, daß keine Betriebsstörungen eintreten und die Reinigeranlage den größten ökonomischen Vorteil gewährt, gelangt Perissini zu der folgenden Formel:

$$f = \sqrt{\frac{k_1 \, a \frac{2n}{(2n-1)d} + \alpha}{k_2}},$$

Hierin ist f die Fläche eines jeden zu einem und demselben Systeme gehörigen Kastens, welche zur Reinigung von je 1000 m^3 Gaserzeugung pro 24 Stunden erforderlich ist, n die Anzahl der zur gleichzeitigen Anwendung kommenden Reiniger, d die Gesamtschichtenhöhe des Reinigungsmateriales, k_1 die Kosten von 1 *kg* Reinigungsmasse, k_2 die Kosten pro 1 m^2 und Tag eines jeden zu einem Systeme gehörigen Kastens (Verzinsung des Anlagekapitales für Gebäude, Apparate und Erhaltung), a und α Konstante.

Bezeichnen ferner k die Kosten von Arbeitslöhnen in Geldeinheiten, welche auf die Reinigung von je 1000 m^3 entfallen, M das zur Reinigung von 1000 m^3 Gas erforderliche Quantum Masse in *kg*, β und b Konstanten, so ist

$$k = \frac{\alpha}{f} + \beta$$

und

$$M = \frac{\frac{a}{f} + b}{\left(\frac{2n-1}{2n}\right) d} = \frac{A}{f} \pm b.$$

Um aus diesen beiden Gleichungen, in denen $\frac{(2n-1)}{2n}d$ als konstant vernachlässigt werden können, α und A, respektive a zu bestimmen, werden die Werte der Größen von M, f und k zur Zeit der Maximal- und der Minimalproduktion sowie zu dazwischenliegenden Zeiten beobachtet und in die beiden letzten Gleichungen eingesetzt. — Bei Eisenreinigung ist für k_1 derjenige Betrag zu nehmen, welcher durch Division des auf 1 *kg* entfallenden Anschaffungspreises durch die Anzahl der an derselben Masse vorgenommenen Regenerationen erhalten wird.

Gewöhnlich sind in einem Systeme vier Reiniger, von denen drei in Betrieb sind, während der vierte mit frischer Masse beschickt, respektive mit dem Gebläse regeneriert wird. Das Gas tritt zuerst in den Reiniger, der die älteste Masse enthält, zuletzt in denjenigen mit der frischen Masse (Gegenstromprinzip). Für kleine Gasfabriken sind mindestens zwei Reiniger anzuordnen.

Beim Eintritt in die Reiniger darf das Gas nur mehr wenig Ammoniak enthalten, weil sonst Unzukömmlichkeiten (Abscheiden von Ammonsalzen, Dichtwerden der Masse, Bildung von Rhodanammonium, Hygroskopizität der Masse) eintreten könnten. Überdies wird zwar ein großer Teil des noch vorhandenen Ammoniaks in der Masse zurückgehalten, aber es geht doch noch Ammoniak durch, das das Räderwerk der Gasuhren zerstört und beim Brennen salpetrige Säure liefert.

Die Scrubber halten wohl das Ammoniak in genügender Weise zurück, aber manchmal (z. B. in München) dienen sie nur zum Druckausgleich, sind daher nicht in genügender Menge vorhanden, so daß das Gas noch 200—400 *g* Ammoniak in 100 m^3 enthalten kann. In diesem Falle benützt man einen eigenen Reinigungskasten zur Absorption des Ammoniak, der Superphosphat enthält.

Die eigentliche trockene Reinigung erfolgt mit Ätzkalk oder mit Oxyden von Schwermetallen (Eisen- und Manganoxyd).

Die Reinigung mit gelöschtem Kalk (Kalkreinigung ist — wie schon erwähnt — hauptsächlich in England im Gebrauche. Ihre Wirkung läßt sich durch folgende Reaktionsgleichungen darstellen:

1. Kohlensäure:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

2. Schwefelwasserstoff:

$$Ca(OH)_2 + H_2S = CaS + 2\,H_2O$$

und

$$Ca(OH)_2 + 2\,H_2S = Ca(SH)_2 + 2\,H_2O$$

3. Schwefelkohlenstoff:

$$CaS + CS_2 = CaCS_3.$$

Besser erfolgt die Abscheidung des Schwefelkohlenstoffes bei Vorhandensein von Polysulfiden. Diese entstehen, wenn man Schwefelcalcium an der Luft lagern läßt und öfters umschaufelt, oder noch einfacher, wenn man dem Gase einige Prozente Luft beimengt:

$$Ca(SH)_2 + O = Ca\begin{matrix}\diagup OH \\ \diagdown SH\end{matrix} + S.$$

Dort, wo das Rohgas in den Reiniger eintritt, kann es vorkommen, daß das anfänglich gebildete Sulfid durch Kohlensäure zersetzt wird, wobei Schwefelwasserstoff entweicht.

Die Kalkreinigung hat den Nachteil, daß der abfallende, übelriechende Gaskalk fast wertlos ist. Der frische Gaskalk findet Anwendung zum Enthaaren von Fellen, mit Eisenvitriol gemischt als grüne Tünche, auf nicht angebauten Feldern zur Ausrottung von Unkraut und Ungeziefer, sowie zum Anstreichen von Obstbäumen. Der lang abgelagerte, oder noch besser der gebrannte Gaskalk kann als Dungmittel für Hülsenfrüchte, Klee, etc. dienen.

Am Kontinent ist die Kalkreinigung vollständig durch jene mit Eisenhydroxyd verdrängt worden.

Ursprünglich verwendete man zu diesem Zwecke die Laming'sche Masse, ein Gemenge von zu Staub gelöschtem, gesiebtem Kalk mit Sägespänen, das mit einer Lösung von Eisenvitriol begossen, gut durchgeschaufelt und 24 Stunden an der Luft ausgebreitet liegen gelassen wurde. Die Wirkung der Masse auf Schwefelwasserstoff ist folgende:

$$Fe_2(OH)_6 + 3\,H_2S = Fe_2S_3 + 6\,H_2O$$

oder

$$Fe_2(OH)_6 + 3\,H_2S = 2\,FeS + S + 6\,H_2O.$$

War die Masse unwirksam geworden, so wurde sie unter Umschaufeln der Luft ausgesetzt, wobei das Schwefeleisen unter Abscheidung von Schwefel wieder zu Hydroxyd oxydiert wurde:

$$Fe_2S_3 + 3\,O + 3\,H_2O = Fe_2(OH)_6 + 3\,S$$

oder

$$2\,FeS + 3\,O + 3\,H_2O = Fe_2(OH)_6 + 2\,S.$$

Da hiebei die Kalksalze keine Rolle spielen, hat man sie ganz weggelassen und verwendet heute nur mehr Eisenhydroxyd,

das — weil nicht verdünnt — kräftiger wirkt und sich leichter regenerieren läßt. Am meisten finden die natürlich vorkommenden Eisenhydroxyde (Raseneisenerz und Quellenocker) Verwendung; doch benützt man auch künstliches Hydroxyd (Deicke'sche Masse, Lux-Masse). Die Wirkung auf Schwefelwasserstoff ist dieselbe wie oben.

Für die Verwertung der gebrauchten Reinigungsmasse ist ihr Gehalt an Cyan- und Rhodan-Verbindungen noch weit wichtiger als ihr Schwefelgehalt.

Reines Eisenhydroxyd vermag nicht Cyanwasserstoff aufzunehmen und damit Berlinerblau zu bilden. Das gelingt erst dann, wenn neben Cyanwasserstoff auch Schwefelwasserstoff vorhanden ist. Wahrscheinlich wird hiebei zunächst Eisensulfür (FeS) gebildet, das dann mit Cyanwasserstoff reagiert. Gleichzeitige Anwesenheit von Ammoniak begünstigt die Bildung von FeS; ein Überschuß von Ammoniak muß jedoch vermieden werden, weil dadurch die Bildung der weniger wertvollen Rhodanverbindungen begünstigt wird. Aus diesem Grunde enthalten Reinigungsmassen aus Anstalten, welche mit Dampfstrahl-Exhaustoren arbeiten (wobei das Ammoniak sehr vollständig entfernt wird), weit weniger Berlinerblau als andere, und zwar um so mehr, als sich beim neuerlichen Erwärmen des (NH_3-, H_2S- und HCy-haltigen) Gases im Dampfstrahl -Exhaustor erhebliche Mengen von Rhodanammonium bilden:

$$HCN + H_2S + O\,*) = HCNS + H_2O$$

und

$$HCNS + NH_3 = NH_4CNS.$$

Durchschnittsergebnisse der Trockenreinigung in vier Berliner Gasanstalten:

Anstalt	I	II	III	IV
Cyan am Anfang des Reinigers in 100 m^3 Gas, *g*	121·0	155·0	166·7	147·0
„ „ Ausgang „ „ „ 100 m^3 „ *g*	72·9	53·7	63·7	70·0
Abnahme des Cyans . . . . %	39·8	65·4	61·8	52·4
Maximum der Abnahme . . . . . . %	56·7	77·1	69·5	60·6
Minimum „ „ . . . . . . %	22·4	56·9	55·4	43·3
Ammoniak in 100 m^3 Gas . . . . . *g*	0·6	15·7	6·5	2·8
Reinigerfläche auf 1000 m^3 Gas in 24 Stunden, m^2	4·5	6·8	6·6	5·8
Masse im Mittel gebraucht	8·4	3·9	6·8	4·4

*) Aus der stets im Gase enthaltenen, wenn auch geringen Menge von Luft stammend.

Zusammensetzung gebrauchter, trockener Berliner Gasmasse (Gröditzer Erz).

Wie vielmal gebraucht?	3	6	9	11
Schwefel	32·40	41·01	44·41	47·32
Eisenoxyd	21·10	18·85	12·26	9·22
Eisenoxydul	6·36	5·39	3·63	4·44
Ferrocyan	7·88	9·29	12·39	13·37
Ammonium (NH_4)	0·46	0·40	0·57	0·59
Ammoniumsulfat	1·86	2·12	2·30	2·43
Ammoniumrhodanid	0·27	0·15	0·10	0·09
Sand und Ton	8·16	4·63	3·77	3·55
Kali, Alkalien, Phosphorsäure, etc.	2·01	1·92	1·46	1·50
Schwefelsäure (SO_3), an Kalk gebunden	0·32	0·34	0·33	0·30
Holz und Hydratwasser	19·18	18·90	18·78	17·19
Summe	100·00	100·00	100·00	100·00
Cyan im Ferrocyan	4·55	5·28	7·07	7·61
Das Cyan entspricht Berlinerblau	8·35	9·70	12·98	13·98

Zusammensetzung verschiedener anderer ausgebrauchter Reinigungsmassen.*)

Art der Masse	Wasser	Schwefel	Berlinerblau	Rhodanammonium	Ammoniak	Analytiker
Alte Lux-Masse**)	26·52	29·95	2·27	3·78	1·66	Leybold
Dauber-Masse	24·72	27·82	2·70	8·06	2·82	Leybold
Dauber-Masse***)	29·84	29·58	4·86	7·19	1·01	Leybold
Schröder & Stadelmann	16·48	28·48	4·26	6·58	2·84	Leybold
Mattoni-Masse (Quellocker)	26·36	28·26	5·40	2·41	0·41	Leybold
Gutes Rasenerz	26·00	25·04	10·32	2·24	0·38	Leybold
Deicke-Masse, Gasanstalt München	lufttr.	44·84	5·89	n. best.	n. best.	E. Schilling
Dauber- „ Gasanstalt München	„	42·02	7·03	„	„	E. Schilling
Mattoni- „ Gasanstalt München	„	46·62	4·87	„	„	E. Schilling
Lux- „ Gasanstalt München	„	53·69	7·29	„	„	E. Schilling

*) Nach Muspratt.

**) Sehr kleine Reinigerkästen, große Gasgeschwindigkeit.

***) Im Kasten regeneriert.

Die chemischen Vorgänge, welche sich bei der Regeneration der Reinigungsmasse vollziehen, wurden schon oben erörtert. Die Dauer der Regeneration beträgt 24 bis 48 Stunden. Bei der von Grahn eingeführten Regeneration mit Körting'schem Regeneriergebläse bleibt die Masse in den Reinigern liegen, bis sie ganz frisch aufbereitet werden muß. Durch einen Dampfstrahl wird Luft angesaugt und durch 50 *mm* weite, mit Hähnen versehene Rohre in die Reiniger geführt. Die Regeneration erfordert 6—8 Stunden.

VIII. Kapitel.

Messen und Ansammeln des Gases in Gasbehältern und Regulierung des Druckes.

Zwischen den Reinigern und den Gasbehältern ist in allen Fällen ein Fabrikations- oder Stationsgasmesser einzuschalten. Dieselben sind ähnlich eingerichtet wie die Gasuhren, von denen wir später sprechen werden, haben aber natürlich weit größere Dimensionen als diese, welche ja nur den einzelnen Konsumenten dienen. Dieselben sind heute häufig mit Registriervorrichtungen versehen, welche die Menge des durchgehenden Gases selbsttätig aufzeichnen.

Ist d der Trommeldurchmesser, B die Trommeltiefe, h der Wasserstand über dem Mittel (alles in Metern gemessen), n die Anzahl der Trommelumdrehungen pro Stunde und V (in m^3) die Gasmenge, welche stündlich den Gasmesser passiert, so ist

$$V = n\,B\,\pi\left(\frac{d^2}{4} - h^2\right).$$

Von hier gelangt das Gas zu den Gasbehältern oder Gasometern, die im allgemeinen aus einem Wasserreservoir (Bassin) und einer darin schwimmenden Glocke bestehen. Sie stehen entweder frei (in Gegenden mit milden Wintern) oder in eigenen Gebäuden. Freistehende Bassins werden im Winter mit Stroh oder Dünger überdeckt; auch legt man nahe unter der Oberfläche des Wassers ein Dampfrohr in das Bassin, oder man konstruiert eine, den heizbaren Badewannen ähnliche Heizung.

Die Bassins werden aus Mauerwerk, aus Beton oder aus Eisenblech hergestellt. Für erstere soll die Stärke des Mauerwerkes (nach Baumeister Schnuhr) sein:

$$b = r\left(\sqrt{\frac{f + p_{\prime}}{f - p_{\prime} + 2 p_{\prime\prime}}} - 1\right)$$

worin r der innere Radius, $p_{\prime}$ der innere Druck pro Flächeneinheit, $p_{\prime\prime}$ der äußere Druck pro Flächeneinheit, b die Wandstärke und f die zulässige Spannung des Materiales bedeutet. Steht das Bassin zum größten Teile über dem Terrain, so kann $p_{\prime\prime}$ vernachlässigt werden, so daß man hat:

$$b = r\left(\sqrt{\frac{f + p_{\prime}}{f - p_{\prime}}} - 1\right).$$

Professor Undeutsch in Freiberg hat zur Berechnung von Gasbehälterbassins folgende Formeln aufgestellt:

In denselben bedeutet:

H die Tiefe des Bassins in Metern,

r den lichten Radius desselben in Metern,

a die obere Breite } der Bassinwand in Metern,
$b = a + n$ die untere Breite }

$\gamma = 1000$ *kg*. Das Gewicht von 1 m^3 Wasser,

γ_1 das Gewicht von 1 m^3 Mauerwerk

(Für Ziegelstein = 1400—1750 *kg*

„ Sandstein = 2000—2100 *kg*),

$\varkappa$ den Festigkeitskoeffizienten des Bindemittels für Zug in *kg* pro 1 m^2,

$\varkappa_s$ den Scheerfestigkeitskoeffizienten des Bindemittels in *kg* pro 1 m^2.

(Bei 10facher Sicherheit kann man $\varkappa = 10000$ *kg* und $\varkappa_s = 3000$ *kg* setzen.)

Als Baumateriale sind gute Ziegelsteine oder regelmäßig behauene Sandsteine mit Zementbindung zu wählen und beim Steinverband darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Horizontalfugen in tangentialer Richtung möglichst lang werden.

Die folgenden Gleichungen gelten auch für Bassins, die nur aus Beton hergestellt werden, doch bedeutet dann $\varkappa$ den für jeden speziellen Fall durch Versuche festzustellenden Festigkeitskoeffizienten des Betons.

a) Damit eine Verdrehung der Bassinwand um die Basis des Bassins nicht stattfindet, muß sein:

$$n = \frac{1}{2}\left[\sqrt{5 a^2 - N\left(5 a - \frac{N}{4}\right) + 4 E} - \left(3 a + \frac{N}{2}\right)\right],$$

In diese Gleichung ist:

$$E = H^2 . \frac{\gamma}{\gamma_1},$$

$$N = \frac{\varkappa H}{r \gamma_1}$$

zu setzen, und

$$a < [\sqrt{N^2 + E} - N]$$

zu setzen.

b) Damit eine Verdrehung der Bassinwand um den Bassinrand unterbleibe, muß sein:

$$n = \sqrt{\frac{9}{4}\left(a + \frac{N}{2} + 2J\right)^2 + 2E - 3a\left(a + \frac{2}{3}N + 2J\right)} - \frac{3}{2}\left(a + \frac{N}{2} + 2J\right)$$

worin

$$J = \frac{\varkappa_s}{\gamma_1}.$$

c) Damit ein gleichzeitiges radiales Auswärtsschieben der Bassinwandteile unterbleibe, muß sein:

$$b = \frac{H^2\gamma - \left(\frac{H\varkappa}{r}\right)a}{\left(\frac{H\varkappa}{r}\right) + 2\varkappa_s}.$$

d) Damit eine gleichzeitige Öffnung der Fugen in zwei diametral gegenüberliegenden Vertikalschnitten nicht stattfindet, gilt:

$$b = \sqrt{\left(\frac{H\varkappa}{\pi\varkappa_s} + r\right)^2 + \frac{2H}{\pi\varkappa_s}(H\gamma r - a\varkappa)} - \left(\frac{H\varkappa}{\pi\varkappa_s} + r\right)$$

Man rechnet für dasselbe a die vier Werte von b mittels obiger Gleichungen aus und wählt den größten derselben.

A. Mohr gelangt unter Berücksichtigung des äußeren Erddruckes, indem er das Gewicht von 1 m^3 Erde zu 1600 *kg* und den Böschungswinkel zu 37° annimmt für die untere Stärke der Ringmauer zu dem Ausdrucke:

$$b = \sqrt{\left(\frac{a}{2} + \frac{h\varkappa}{2d\gamma}\right)^2 + \frac{a^2}{2} + \frac{300h^2}{\gamma_1}} - \left(\frac{a}{2} + \frac{h\varkappa}{2d\gamma_1}\right).$$

Ohne Berücksichtigung des Erddruckes kann man die Wandstärke für gemauerte oder Stampfbeton-Bassins wie folgt wählen:

Durchmesser *m*	Höhe *m*	Obere Wandstärke *m*	Untere Wandstärke *m*
10	4·0—4·5	0·30—0·45	0·90—1·00
15	4·5—5·5	0·45—0·60	1·25—1·50
20	5·5—6·5	0·60—0·75	1·50—2·00
25	6·5—7·0	0·60—0·75	2·00—2·50
30	7·0—7·5	0·75—0·90	2·25—2·75
35	7·0—7·5	0·75—0·90	2·50—3·00
40	7·0—8·0	0·90—1·05	3·00—3·50
45	7·0—8·0	0·90—1·10	3·25—3·75
50	7·0—8·0	0·90—1·10	3·50—4·00

Jedenfalls ist der Baugrund sehr sorgfältig zu untersuchen und bei nicht wasserfreiem Baugrund ist bis auf das Grundwasserniveau hinabzugehen. Geht man tiefer, so ist auf Beton zu fundieren. Zum Mauern darf nur hydraulischer Mörtel und Zement verwendet werden, der nicht zu rasch bindet. Das Innere des Bassins wird mit einem etwa 15 *mm* starken Verputz aus 1 Teil Portlandzement und 1 Teil feinem gesiebten Sand versehen. Das Aufmauern ist ringsum gleichmäßig vorzunehmen. Die Anker und Bolzen für die unteren Leitschienen dürfen nicht in das fertige Bassinmauerwerk eingesetzt werden, sondern sind schon während des Aufmauerns zu verlegen.

Die Wandstärke der Eisen- und Stahlblechbehälter ist auf Zugfestigkeit bei mäßiger Beanspruchung zu berechnen. Die Vertikalnähte sind zweireihig zu nieten. Der untere Rand muß ein gegen Senkungen gesichertes Auflager besitzen; der obere Rand ist durch einen als Rundgang zu benützenden kräftigen Ring zu verstärken.

Die Gasbehälterglocken sind zylindrische, aus Eisenblech hergestellte und entsprechend versteifte Behälter, die unten offen sind, oben aber eine meist gewölbte Blechdecke besitzen. Natürlich müssen diese Glocken so leicht als möglich konstruiert sein. Die einzelnen Blechtafeln werden kalt vernietet. Um die Verbindung gasdicht zu machen, wird zwischen die Nietflächen ein mit Menningkitt bestrichenes Leinenband eingelegt.

Die oberste und unterste Reihe der Mantelbleche werden meist etwas stärker gehalten als die übrigen. Man wählt die Blechstärke etwa wie folgt.

Glockeninhalt	Deckbleche	Mantelbleche
	Gewicht pro 1 m^2 in *kg*	
bis 30 m^3	11	9·9
30—150 m^3	12·1	11·0
150—900 m^3	13·2	12·1
über 900 m^3	14·6	13·2

oder nach anderen Angaben:

Durchmesser der Glocke *m*	Deckbleche	Mantelbleche
	Gewicht pro 1 m^2 in *kg*	
bis 6 *m*	12·5	10
6—12 *m*	12·5	15
12—25 *m*	15	18
über 25 *m*	18	20

Die Bleche müssen fehlerfrei sein; sie werden in Leinöl gekocht und vor der Montierung zweimal mit Mennige gestrichen. Abstand der Nietenmitte vom Blechrand = 25 bis 40 *mm*; Nietenentfernung = 25 *mm*; Nietendurchmesser = 7 *mm*. Der untere

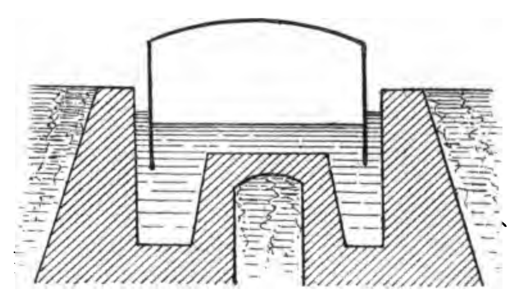


Fig. 129.

Glockenrand ist als Auflagerung auszubilden. Das Gerippe, welches die Glocke und namentlich die Glockendecke versteift, ist statisch zu berechnen.*) Der Spielraum zwischen Glocke und Bassin beträgt je nach der Größe des Gasbehälters 250 bis 600 *mm*.

Um an Erdaushub zu sparen, läßt man manchmal im Innern des Bassins einen Erdkegel stehen (Fig. 129), der dann auch im Mauerwerk verkleidet wird.

*) J. W. Schwedler, Zeitschr. f. Bauwesen, 1876, p. 179.

Das Verhältnis der Höhe zum Durchmesser der Glocke wählt man bei kleineren Glocken etwa wie 1 : 2; bei größeren muß jedoch die Höhe kleiner als der Radius genommen werden. Dasselbe ergibt sich aus dem vorgeschriebenen Drucke p und dem dadurch bedingten Gewichte W, sowie aus der zweckmäßigen Tiefe des Bassins und den Kosten bei verschiedenen Verhältnissen von Tiefe und Durchmesser des Bassins. Um einen sicheren Abschluß zu erzielen, ist auf die Eintauchtiefe der Glocke bei ihrem höchsten Stand 250 bis 300 *mm* zu rechnen.

Der Fassungsraum der Gasbehälterglocke soll 70—75% (mindestens aber 50%) des maximalen Tagesverbrauches betragen.*)

Bei freistehenden Gasbehältern ist auf den Winddruck Rücksicht zu nehmen; er beträgt 0·57 des Druckes, den der Wind

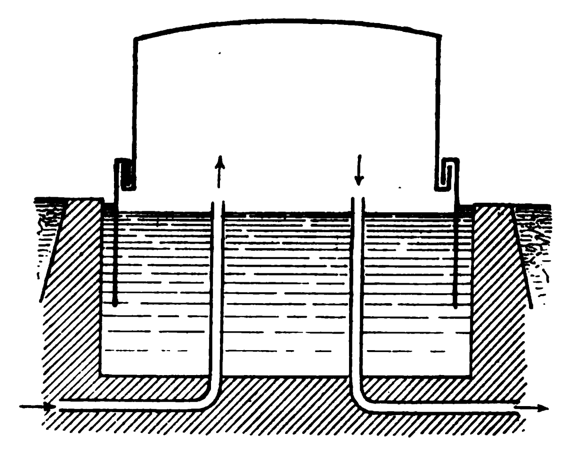


Fig. 130.

normal auf eine Ebene von gleicher Größe wie der Glocken-Längsschnitt ausüben würde. Letzterer beträgt:

bei Orkan	. . . .	195·968 *kg/cm*
„ Sturm	. . . .	110·230 *kg/cm*
„ lebhaftem Wind	. . . .	6·001 *kg/cm*
„ mäßigem Wind	. . . .	0·765 *kg/cm*

Die Glocken werden am besten mit wetterfesten Anstrich-Dauerfarben, weniger zweckmäßig, aber häufig mit gekochtem Teer angestrichen, der mit Firnis verdünnt ist.

Um an Grundfläche und Bassintiefe zu sparen, werden größere Glocken als Teleskop-Behälter hergestellt (Fig. 130). Ge-

*) Wird jedoch, wie in manchen kleinen Gasanlagen, nur bei Tag Gas erzeugt, so ist der Glockeninhalt mindestens gleich dem Tageskonsum (besser 1·5facher Tageskonsum) zu setzen.

wöhnlich werden dieselben zweiteilig hergestellt und bestehen dann aus einer Glocke (der geschlossene obere Teil) und einem Ringe (der untere Teil des Behälters), doch werden in neuerer Zeit auch drei- bis sechsteilige Teleskopbehälter hergestellt, die dann aus

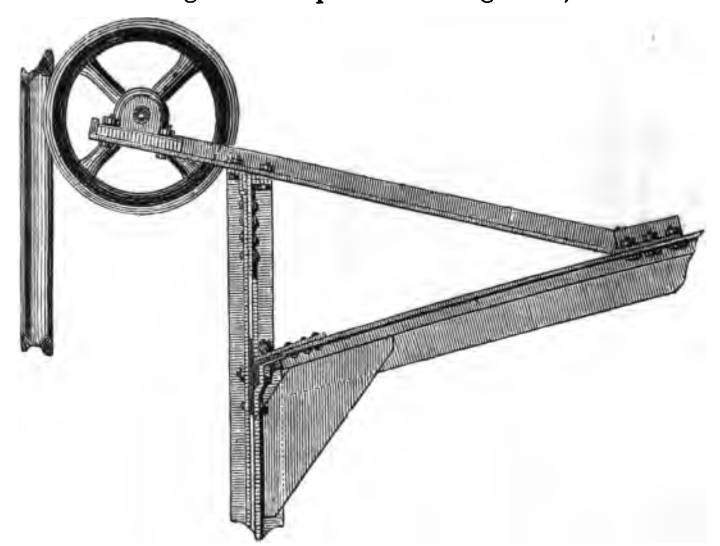


Fig. 131.

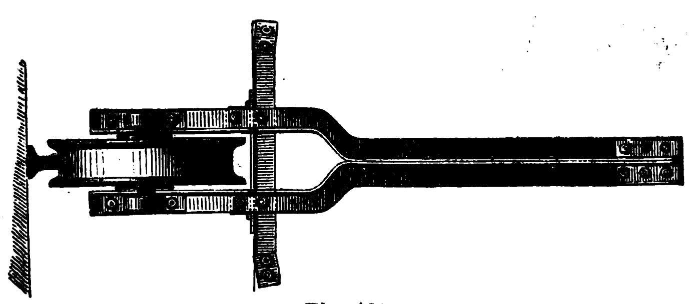


Fig. 132.

einer Glocke und zwei bis fünf Ringen bestehen. Die gasdichte Verbindung zwischen Ring und Glocke, bezw. zwischen den einzelnen Ringen wird durch einen hydraulischen Verschluß hergestellt.

Um beim Auf- und Niedersteigen der Glocke Schwankungen derselben zu vermeiden, muß die Gasglocke sicher geführt werden. Diese Führung wird in drei Arten bewerkstelligt.

1. Zentralführung,
2. Radialführung und
3. Tangentialführung.

Bei der Zentralführung ist an der Deckenmitte ein Rohr angesetzt, dessen Länge der Höhe der Glocke entspricht. Durch dieses Rohr geht eine vertikale Eisenstange, die am Boden des Bassins eingemauert und ober der Glocke in geeigneter Weise befestigt ist. Diese Art der Führung kommt nur bei ganz kleinen Gasglocken vor und ist selbst bei solchen nicht zu empfehlen, da durch Krümmung der Führungsstange, Schief hängen der Glocke, etc. leicht eine Hemmung der Glockenbewegung eintreten kann.

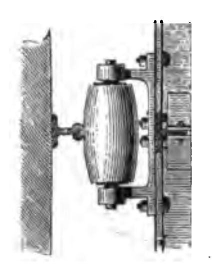


Fig. 133.

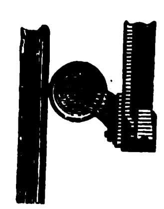


Fig. 134.

Bei der Radialführung sind an der Glocke Rollen angebracht, die in der Richtung eines Halbmessers liegen und längs Schienen laufen, die am Bassin festanmontiert sind. Fig. 131 und 132 zeigen die Anordnung für den oberen Teil der Glocke, dort wo die Decke anschließt, während Fig. 133 und 134 die Radialführung des unteren Teiles einer einfachen Glocke darstellt.

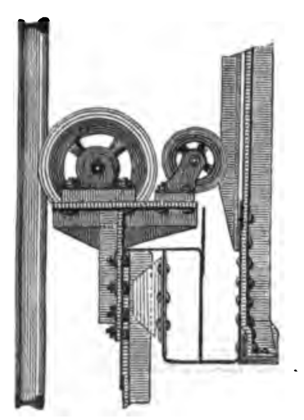


Fig. 135.

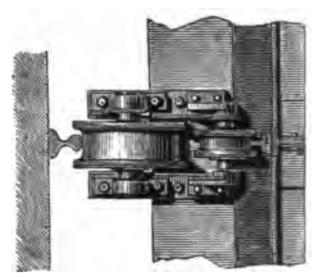


Fig. 136.

Bei Teleskopglocken müssen Rollenpaare vorhanden sein; eine dieser Rollen läuft längs einer fixen Schiene, während die andere zur Führung der oberen Glocke dient (Fig. 135 und 136).

Bei der Tangentialführung greifen je zwei Rollen, die sich in einer senkrecht auf dem Glockenradius stehenden Ebene drehen (Fig. 137), von beiden Seiten gegen die Leitschiene.

Andere Führungsarten sind die Spiralführung von Gadd und Mason, die Seilführung von Pease, Intze, u. A., u. s. w.

Die gewöhnliche Art der Gas-Zu- und Ableitung ist aus Fig. 130 ersichtlich. Sie besteht aus zwei vertikal im Bassin auf-

ragenden Röhren, deren Mündung über den Wasserspiegel des Bassins reicht. Die in der Decke der Gasglocke mündenden gegliederten Zu- und Ableitungsröhren (Fig. 138) sind wieder außer Gebrauch gekommen.

Um den Gasdruck in der Glocke zu messen, bedient man sich der **Manometer**, von denen zahlreiche verschiedene Konstruktionen existieren.

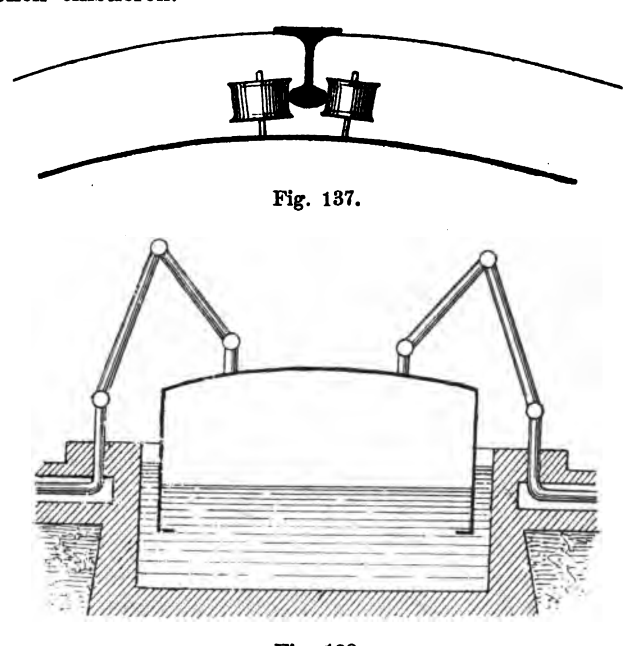


Fig. 137.

Fig. 138.

An die Gashehälter schließen sich die **Rohrnetze**, die das Gas an die Verbrauchstellen führen. Da aber der Gasverbrauch zu verschiedenen Zeiten des Tages ein sehr verschiedener ist, würden sich an den Verbrauchstellen unliebsame Druckschwankungen ergeben, wenn man das Gas den Behältern ohne weiteres entnehmen würde.

Um dies zu vermeiden, muß man den Druck, unter welchem das Gas an der Abgabestelle in das Rohrnetz strömt, dem Konsum entsprechend regulieren.

Von den zahlreichen zu diesem Zwecke konstruierten **Druckregulatoren** hat wohl der von **Clegg** und seine Verbesserungen die weiteste Verbreitung gefunden (Fig. 139). Derselbe besteht aus einer Gasglocke mit Wasserabsperrung, in welche das Gas eintritt.

Steigt der Gasdruck, so wird die Glocke gehoben und das von der Mitte derselben herabhängende Kegelventil verengt, bezw. die Gaszuströmungsöffnung geschlossen, so daß sich der Druck in der Glocke vermindert. Nun sinkt die Glocke wieder, das Ventil öffnet sich und es strömt mehr Gas nach, u. s. w.

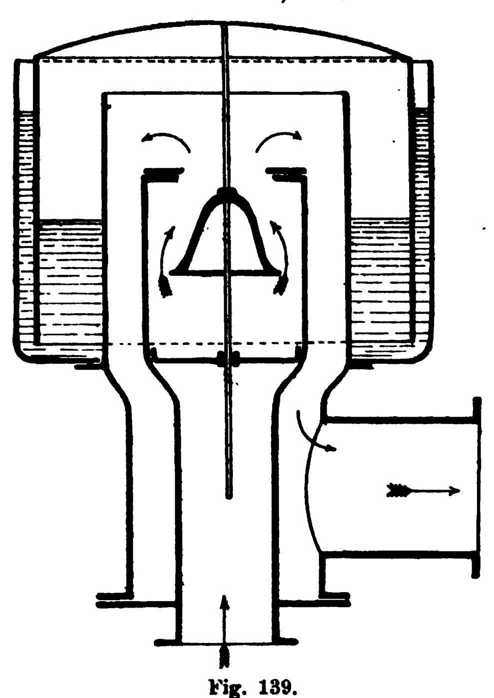


Fig. 139.

Bei diesem Druckregler wirkt der Gasdruck unter allen Umständen in der Richtung von unten nach oben auf den Querschnitt des Kegelventils, verzögert also das Sinken der Glocke. Um diesen Übelstand zu beseitigen bringt Giroud unter dem Kegelventile, an der Führungsstange desselben eine Scheibe an, die dem von oben nach unten auf sie wirkenden Gasdrucke eine ebenso große Fläche bietet wie das Ventil. Diese Art der Entlastung des Ventiles hat seither allgemein Eingang gefunden. Da ferner das Gewicht der Glocke wächst, wenn sie aus der Sperrflüssigkeit aufsteigt, hat Giroud an der Glocke zwei siphonartig gekrümmte Röhren befestigt, die über den Apparat hinausreichen und denselben Querschnitt besitzen, wie der Horizontalquerschnitt des eintauchenden Glockenbleches. Sinkt die Glocke, so tritt Wasser in diese Siphons, steigt sie, so fließt es aus denselben aus, so daß das Wasserniveau stets das gleiche bleibt.

Um stoßweise Veränderungen des Ausgangsdruckes zu vermeiden, wie sie dann eintreten, wenn man die Belastung der Glocke durch Auflegen oder Abnehmen von Gewichten ändert, ist beim Elster'schen Druckregulator (Fig. 140) Wasserbelastung angewendet.

Das Gas tritt bei A in den Apparat ein und passiert denselben in der Richtung der Pfeile. Die an der hohlen Stange s s befestigte kleine Glocke g wird bei wachsendem Gasdrucke gehoben.

Damit hebt sich aber auch die Scheibe v (deren Fläche eben so groß ist als der Querschnitt von Glocke g) und verengt die Gasaustrittsöffnung. Zur Belastung der Glocke dient das Wassergefäß C, in welchem das Überfallrohr h i angebracht ist. Der rechtwinklig abgebogene Teil h dieses Rohres läßt sich mittels des Hebels um die Achse des Rohres i drehen, wodurch das Niveau des Wassers in C reguliert werden kann. Ein am Hebel H angebrachter Zeiger gestattet den Druck der Glocke abzulesen, der einer beliebigen Hebelstellung entspricht. Soll derselbe erniedrigt werden, so dreht man h so weit als nötig nach abwärts, worauf aus C Wasser ausfließt und der Druck allmählich sinkt. Will man den Druck jedoch erhöhen, so hebt man h und läßt nach C Wasser in dünnen Strahlen nachfließen.

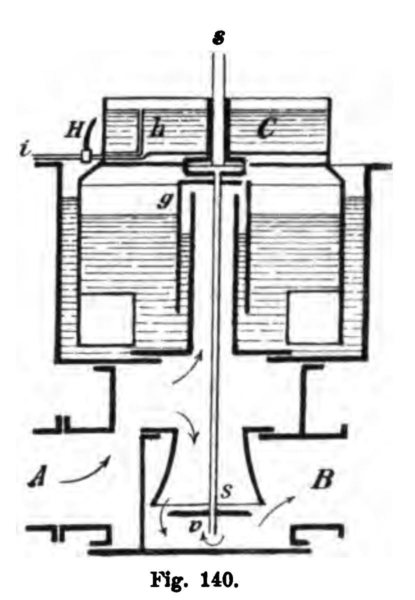


Fig. 140.

Außerdem gibt es noch verschiedene Konstruktionen von selbsttätigen Druckreglern (von Elster, Gareis, Blum, und Ledig, u. a.) auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Ferner kommt noch ein Stationsgasmesser zur Verwendung, der ähnlich wie die später zu beschreibenden Gasuhren, nur natürlich in entsprechender Größe, konstruiert ist.

IX. Kapitel.

Anlage von Gasfabriken, Rohrleitungen, etc.

Für die Anlage einer Gasfabrik wird ein möglichst tief liegender Bauplatz gewählt. Da nämlich der Gasdruck*) mit einer Steigung von 5 *m* um 4 *mm* Wassersäule wächst, kann man in einer Gasanstalt, die gegenüber den Verbrauchsorten tief liegt, mit geringem

*) Spez. Gew. des Gases = 0·38 angenommen.

Drucke arbeiten, wodurch man eine Verringerung der Gasverluste durch Undichtheiten der Leitung erzielt. Weiter ist bei der Wahl des Bauplatzes auf leichte Kohlenzufuhr und die Möglichkeit einer späteren Vergrößerung Rücksicht zu nehmen.

Die Größe einer neu zu errichtenden Anlage hängt von der Flammenzahl ab, welche sie speisen soll. Hiebei ist jedoch darauf Rücksicht zu nehmen, daß das Leuchtgas immer mehr zu Koch- und Heizzwecken, sowie zum Betriebe von Gasmotoren Anwendung findet. Man muß daher den Maximalverbrauch bedeutend höher annehmen, als sich aus der Flammenzahl berechnet. Am besten tut man, zu diesem Zwecke die Daten von anderen Städten gleicher Größe und ähnlichen Wirtschaftsverhältnissen als Anhalt zu benützen.

Für Privatflammen kann man durchschnittlich für die längste Nacht eine achtstündige Brennzeit und einen Stundenkonsum von 140 *l* annehmen (1·12 m^3 pro Tag und Flamme). Nach Dr. Schilling beträgt der durchschnittliche Jahresverbrauch einer Privatflamme im Minimum 20 m^3, im Maximum 105 m^3, liegt jedoch in den meisten Städten zwischen 40 und 70 m^3.

Für die Straßenbeleuchtung nimmt man an:

in kleineren	Städten	jährlich	800—1000	Brennstunden
„ mittleren	„	„	1500—1600	„
„ großen	„	„	3000—3800	„

und einen stündlichen Gasverbrauch von 115—185 *l* pro Flamme.

Für das Anzünden und Auslöschen der Straßenflammen gilt durchschnittlich:

a) Ohne Berücksichtigung des Mondscheines:
Anzünden ½ Stunde nach Sonnenuntergang,
Auslöschen 1 „ vor Sonnenaufgang.

b) Mit Berücksichtigung des Mondscheines:
Anzünden 1 Stunde vor Monduntergang,
Auslöschen 1 „ nach Mondaufgang.

Unter zwei Stunden Brennzeit wird meist gar nicht beleuchtet; in kleinen Städten entfällt die Beleuchtung oft in den Monaten Mai bis Juli.

Nach Mitternacht wird ein Teil der Straßenlaternen ausgelöscht, und zwar:

in kleinen	Städten	80—75%
„ mittleren	„	67—50%
„ großen	„	50—24%

Hat man mit Hilfe dieser Daten den Gasverbrauch festgestellt, so macht man hiezu für Verluste einen Zuschlag von 10%.

Man kann diese Verluste jedoch auch in Bezug auf die Länge des Rohrnetzes berechnen (was jedenfalls dann zweckmäßig ist, wenn es sich um die Beleuchtung langgestreckter Orte oder langer Straßenzüge handelt). Hiebei rechnet man pro 1 Stunde und 1 *km*

bei sehr guten Leitungen . . . . 100 *l*

„ schlechten Leitungen (äußerste zulässige Grenze) . 200 *l*

In Prozenten vom Jahreskonsum beträgt:

der 24stündige Gasverbrauch am kürzesten Tage	. 0·5	bis 0·75%
„ 24 „ „ „ längsten „	. 0·05	„ 0·1 %
„ Gasverbrauch im Dezember		14%
„ „ „ Juli		3%

Für 1000 m^3 Jahreserzeugung entfällt als Durchschnittsproduktion im Monate Jänner . . . .

„ „ Februar	4·07 m^3	pro Tag
„ „ März	3·57 m^3	„ „
„ „ April	2·69 m^3	„ „
„ „ Mai	1·81 m^3	„ „
„ „ Juni	1·30 m^3	„ „
„ „ Juli	1·39 m^3	„ „
„ „ August	1·52 m^3	„ „
„ „ September	2·77 m^3	„ „
„ „ Oktober	3·74 m^3	„ „
„ „ November	4·06 m^3	„ „
„ „ Dezember	4·49 m^3	„ „

oder im Monate Jänner . .	12·6 %	der Jahreserzeugung
„ „ Februar . .	10·0 %	„ „
„ „ März . . .	8·35%	„ „
„ „ April . . .	5·43%	„ „
„ „ Mai . . .	4·7 %	„ „
„ „ Juni . . .	3·9 %	„ „
„ „ Juli . . .	4·3 %	„ „
„ „ August . .	4·7 %	„ „
„ „ September .	8·3 %	„ „
„ „ Oktober . .	11·6 %	„ „
„ „ November. .	12·2 %	„ „
„ „ Dezember. .	13·92%	„ „

Pro Einwohner kommt an Jahreskonsum:

in großen deutschen Städten	35—80 m^3
„ mittleren Städten	15—40 m^3
„ kleineren „	5—20 m^3

Ferner rechnet man auf 1000 m^3 Jahreserzeugung durchschnittlich 5 m^3 Gasbehälterraum.

Die Anlagekosten einer Gasanstalt betragen pro 1000 m^3 Jahresproduktion etwa 1000—1500 K (800—1250 M.).

Die Anzahl der Öfen und Retorten hängt natürlich von der Maximalerzeugung ab; hiebei ist jedoch auf eine Retortenreserve von 20 bis 30% Bedacht zu nehmen.

Die Pfeiler zwischen zwei benachbarten Öfen sollen mindestens die Stärke von zwei feuerfesten Steinen besitzen (510 *mm*); die Pfeiler der Endöfen macht man 900 *mm* und mehr stark. Der Manipulationsraum wird

hinter den Öfen	1·5 bis 2 *m*
vor „ „	5 „ 7 *m*

breit gehalten. Stehen zwei Ofenreihen einander gegenüber, so muß zwischen ihnen mindestens 10 *m* Raum frei bleiben.

Die Dächer des Retortenhauses (in größeren Gasanstalten stets aus Eisen, in kleineren nicht selten aus Holz) erhalten immer Laternen. In jedem Retortenhause sollen auch Wasserreservoirs vorhanden sein.

Die Retortenöfen erhalten entweder jeder für sich einen eigenen oder alle zusammen einen gemeinsamen Schornstein. Der Essenquerschnitt soll nach Schilling betragen:

für einen IIer Ofen	0·08 m^2
„ „ IIIer „	0·09 m^2
„ „ Ver „	0·10 m^2
„ „ VIer „	0·12 m^2
„ „ VIIer „	0·13 m^2
„ „ VIIIer „	0·14 m^2

Die meist über den Öfen angeordnete Vorlage ist genau mit einer Wasserwage zu montieren, um eine gleiche Eintauchung aller Rohre zu erzielen.

Um Explosionen zu vermeiden, sind die Apparatenräume vom Retortenhause zu trennen; das geschieht bei kleinen Anlagen wenigstens durch eine massive Zwischenmauer, während bei großen Anlagen für beide getrennte, isoliert stehende Gebäude errichtet werden. Da in den Apparatenräumen auch keine Flamme brennen darf, werden dieselben von außen (durch vor deren Fenstern stehende Laternen) erleuchtet.

Die Kühler stellt man, um ihnen eine möglichst konstante Lufttemperatur zu sichern, am besten in gut ventilierten Räumen auf (Thermometer).

Gas- und Teerwäscher werden gewöhnlich im selben Raume wie die Kühler aufgestellt. Letztere stellt man zweckmäßig

neben die Kühler, so daß das von letzteren abfließende Ammoniakwasser in dieselben gelangen kann.

Gassauger (Exhaustoren) und Umlaufregler werden gewöhnlich in demselben Raume wie die Dampfmaschine untergebracht, die sie betreibt. Wo Drehbänke, Bohrmaschinen, etc. in Verwendung stehen, empfiehlt es sich, für die Sauganlage einen eigenen Motor aufzustellen, um einen möglichst gleichförmigen Gang der Exhaustoren zu erzielen.

Die Reiniger kommen gewöhnlich in einen eigenen, mittels Laternendaches ventilierbaren Raum. Wegen eventuell nötiger Reparaturen muß zwischen ihnen und der Umfassungsmauer mindestens ein 0·3 *m* breiter Raum frei bleiben; an einer Seite derselben ist jedoch ein Arbeitsraum von 1·5 *m* frei zu lassen.

Stationsgasmesser, Druckregler und oft auch die Verschlüsse vom Ein- und Ausgang der Gasbehälter werden gewöhnlich in einem Raume aufgestellt.

Die Verbindungsrohre zwischen den einzelnen Apparaten sind so weit zu wählen, daß die Gasgeschwindigkeit in denselben bei kleinen Anlagen 1 *m*, in großen aber 2 *m* pro Sekunde beträgt. Ist Q die Gasmenge, welche pro 1 Sekunde passieren soll, und v die Geschwindigkeit (in *m*), so ist der Durchmesser der Röhren (in *m*).

$$d = 1{\cdot}128 \sqrt{\frac{Q}{v}}.$$

Sie werden in einem leicht zugänglichen Raume unter dem Fußboden (Rohrkeller) untergebracht. Leitungen, in welchen sich Teer und Gas gemeinsam fortbewegen sollen, macht man um 25—50 *mm* weiter, als obige Formel angibt.

Teerabflußleitungen sollen nie unter 70 *mm* (besser 100 *mm*) Weite erhalten. Beim Übergange derselben von einem wärmeren Raume in einen kälteren sind Bogenstücke zu vermeiden, da in solchen leicht Verstopfungen eintreten können. Das Gefälle der Fabriksrohre bis zu den Reinigern soll pro 1 *m* Länge mindestens 8—10 *mm* betragen; hinter den Reinigern aber mindestens 4 *mm*. Die Gasbehälterrohre sollen wieder mindestens 6 *mm* pro laufendem Meter Gefälle besitzen. Sämtliche Rohre müssen leicht zugänglich sein. Um auch eine leichte Reinigung derselben zu gestatten, vermeidet man Bögen so viel als möglich und verwendet statt derselben T- oder Kreuzstücke mit Deckelverschlüssen.

Der Gasbehälterausgang erhält dieselbe Dimension wie das zur Stadt führende Hauptrohr.

Die Kohlen werden entweder in Schuppen oder — weniger zweckmäßig — im Freien gelagert. Sie sollen nicht zu weit vom

Retortenhause entfernt sein. Die Lagerfläche derselben läßt sich aus dem erforderlichen Kohlenvorrate und seinem Gewichte bei einer Lagerhöhe von 2 bis 3 *m* leicht berechnen. Jedenfalls ist die Einrichtung so zu treffen, daß die Kohlen nach Sorte und Anlieferzeit gesondert gelagert werden können.

Der Raum zur Regenerierung der Reinigungsmasse ist so einzurichten, daß von unten frische Luft zutreten, die verbrauchte aber oben abziehen kann.

Weiter sind Räumlichkeiten erforderlich für Pumpen, Werkstätten, Rohr- und Fittingsmagazine, Vorräte von Retorten, feuerfesten Steinen, Wohnungen und Bureaus. Die Photometerkammer (mindestens 3·5 *m* lang und 2 *m* breit) ist so einzurichten, daß man nach Belieben das gerade erzeugte Gas oder das aus dem Gasbehälter photometrieren kann. Außerdem ist ein kleines Laboratorium und ein Kalorimeter (von Junker zur Bestimmung des Brennwertes des Leuchtgases) erforderlich.

Sämtliche Räume werden mit Gas- und Wasserleitung sowie mit Dampf- oder Wasserheizung versehen.

Die Teer- und Ammoniakwasserzisterne (entweder eine gemeinsame oder zwei getrennte) werden in Zementmauerwerk ausgeführt; ihre Größe richtet sich nach dem Absatz, den man für beide findet. Sie sind mit ganz aus Gußeisen hergestellten Pumpen (am besten mit Kugelventilen) zu versehen. Für Teerzisternen eignen sich auch Kettenpumpen.

In jeder Gasanstalt müssen Respirationsapparate und Sicherheitslampen vorrätig sein.

Für die Zufuhr der Kohlen (und Abfuhr der Koke) müssen Normalgeleise vorhanden sein, während für den Kohlentransport innerhalb der Fabrik Schmalspurgeleise und mancherlei Transportvorrichtungen in Anwendung stehen.

Das an die Gasbehälter anschließende Rohrnetz besteht aus den Hauptleitungen, den Zuleitungen und den Privatleitungen.

Die Hauptleitungen sollen das Gas mit möglichst konstantem Drucke und bei tunlichst geringem Druckverluste den Verbrauchstellen zuführen.

Bezeichnet Q die stündliche Ausflußmenge in m^3, d die lichte Weite eines Rohrstranges in *mm*, l seine Länge in *m*, h den Druckverlust in *mm* Wassersäule und s das spezifische Gewicht des Gases, so ist

$$Q = 0{\cdot}0022543\, d^2 \sqrt{\frac{h\, d}{s\, l}}$$

und

$$d = 11{\cdot}449 \sqrt[5]{\frac{Q^2 \cdot s \cdot l}{h}}.\text{*)}$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen sind die Tabellen I—III berechnet:

Die vorstehenden Gleichungen gelten für ein horizontal liegendes Rohr; steigt oder fällt dasselbe, so wird der Gasdruck entsprechend der Gewichtsdifferenz zwischen einer Gas- und einer Luftsäule von der Höhe der Niveaudifferenz verändert. Bezeichnet h die Druckdifferenz in *mm* Wassersäule, z die Niveaudifferenz der beiden Enden der Leitung in *m* (+ bedeutet eine Steigung, — ein Gefälle), G = 1·293 *kg* das Gewicht eines m^3 Luft, und s das spezifische Gewicht des Gases, so ist:

$$\pm h = \pm z \, G \, (1 - s).$$

---

*) Eine andere Gleichung gibt

$$Q = 0{\cdot}002949 \, d^2 \sqrt{\frac{h \cdot d}{s \cdot l}},$$

also ziemlich ähnliche Werte wie vorstehende.

Tabelle I. Stündliche Ausflußmenge in Kubik-

Länge der Leitung in *m*	Lichter Durch-								
	40	50	70	100	125	150	175	200	225
25	16	28	78	150	278	439	646	902	1210
50	11	20	55	113	197	311	457	638	856
75	9	16	45	82	161	254	373	521	699
100	8	14	39	80	139	220	323	451	605
125	7	13	35	71	125	196	289	403	541
150	7	12	32	65	114	179	264	368	494
175	6	11	30	61	107	168	248	346	464
200	6	10	27	56	98	155	228	319	428
225	5	9	26	53	93	146	215	301	403
250	5	9	25	50	88	139	204	285	383
275	5	8	23	48	84	132	195	272	365
300	5	8	22	46	80	127	186	260	349
350	4	8	21	43	74	117	173	241	324
400	4	7	19	40	70	110	161	225	303
450	4	7	18	38	66	104	152	213	285
500	4	6	17	36	62	98	144	202	271
600	3	6	16	33	57	90	131	184	247
700	3	5	15	30	53	83	122	170	229
800	3	5	14	28	49	78	114	159	214
900	3	5	13	27	46	73	108	150	202
1000	3	4	12	25	44	69	102	143	191
1250	2	4	11	23	39	62	91	128	171
1500	2	4	10	21	36	57	83	116	156
1750	2	3	9	19	33	53	77	108	145
2000	2	3	9	18	31	49	72	101	135
2250	2	3	8	17	29	46	68	95	128
2500	2	3	8	16	28	44	65	90	121
2750	2	3	7	15	27	42	62	86	115
3000	1	3	7	15	25	40	59	82	111

metern bei 5 *mm* Druck und 0·4 spez. Gewicht.

messer in *mm*									
250	275	300	350	400	450	500	600	800	1000
1575	1999	2485	3653	5101	6847	8911	14056	28855	50408
1116	1413	1757	2583	3607	4842	6301	9339	20404	35644
909	1155	1435	2109	2945	3954	5145	8115	16659	29103
788	1000	1242	1826	2550	3424	4455	7028	14428	25204
704	894	1111	1634	2281	3062	3985	6286	12904	22543
643	816	1014	1491	2082	2795	3638	5739	11870	20579
590	767	953	1401	1956	2626	3417	5390	11065	19330
557	707	879	1291	1803	2421	3150	4970	10201	17822
525	666	828	1218	1700	2282	2970	4685	9618	16803
498	632	786	1154	1613	2165	2818	4445	9125	15910
475	603	749	1101	1538	2065	2687	4238	8700	15198
455	577	717	1055	1473	1977	2572	4058	8397	14551
421	534	664	976	1363	1830	2382	3757	7712	13472
394	500	621	913	1275	1712	2228	3514	7214	12602
371	471	586	861	1202	1614	2108	3313	6801	11881
352	447	556	817	1141	1531	1993	3143	6452	11272
322	408	507	746	1041	1398	1819	2869	5890	10280
298	378	470	690	964	1294	1684	2656	5453	9526
278	353	439	646	902	1210	1575	2485	5101	8911
263	333	414	609	850	1141	1485	2343	4801	8401
249	316	393	578	807	1083	1409	2223	4562	7970
223	283	351	517	721	968	1260	1988	4081	7129
203	258	321	472	659	884	1150	1815	3725	6508
188	239	297	437	610	818	1065	1680	3449	6025
176	224	278	408	570	766	996	1572	3226	5636
166	211	262	385	538	722	939	1482	3042	5313
158	200	248	365	510	685	891	1406	2886	5041
150	191	237	348	486	653	850	1340	2751	4806
144	182	227	323	466	625	813	1283	2634	4602

Tabelle II. Stündliche Ausflußmenge in Kubik-

Länge der Leitung in *m*	Lichter Durch-								
	40	50	75	100	125	150	175	200	225
25	23	40	110	225	394	621	913	1275	1712
50	16	28	78	159	278	439	646	902	1210
75	13	23	63	130	227	359	527	736	988
100	11	20	55	113	197	311	457	638	856
125	10	18	49	101	176	278	408	570	766
150	9	16	45	92	161	254	373	521	699
175	9	15	42	86	151	238	350	489	656
200	8	14	39	80	139	220	323	451	605
225	8	13	37	75	131	207	304	425	571
250	7	13	35	71	125	196	289	403	541
275	7	12	33	68	119	187	275	384	516
300	7	12	32	65	114	179	264	368	494
350	6	11	29	60	105	166	244	341	458
400	6	10	27	56	98	155	228	319	428
450	5	9	26	53	93	146	215	301	403
500	5	9	25	50	88	139	204	285	383
600	5	8	22	46	80	127	186	260	349
700	4	8	21	43	74	117	173	241	324
800	4	7	19	40	70	110	161	225	303
900	4	7	18	38	66	104	152	213	285
1000	4	6	17	36	62	98	144	202	271
1250	3	6	16	32	56	88	129	180	242
1500	3	5	14	29	51	80	118	165	221
1750	3	5	13	27	47	74	109	152	205
2000	3	4	12	25	44	69	102	143	191
2250	2	4	12	24	42	65	96	134	180
2500	2	4	11	24	39	62	91	128	171
2750	2	4	10	21	38	59	87	122	163
3000	2	4	10	21	36	57	83	116	156

metern bei 10 *mm* Druck und 0·4 spez. Gewicht.

messer in *mm*									
250	275	300	350	400	450	500	600	800	1000
2113	2827	3514	5166	6889	9684	12573	19379	40807	71287
1494	1999	2485	3653	4871	6848	8891	14056	28855	50408
1220	1632	2029	2983	3977	5591	7259	11477	23560	41158
1057	1414	1757	2583	3445	4842	6286	9939	20404	35644
945	1264	1572	2310	3081	4331	5623	8890	18250	31881
863	1154	1435	2109	2806	3953	5133	8115	16659	29103
810	1084	1348	1981	2642	3714	4822	7623	15649	27336
747	1000	1242	1827	2436	3424	4445	7028	14428	25320
704	942	1171	1722	2296	3228	4191	6626	13602	23762
668	894	1111	1634	2179	3062	3976	6286	12904	22543
637	852	1060	1558	2077	2920	3710	5994	12304	21494
610	816	1014	1491	1989	2795	3630	5739	11780	20578
565	756	939	1381	1841	2529	3360	5313	10906	19052
528	707	879	1292	1722	2421	3143	4970	10202	17822
498	666	828	1218	1624	2282	2963	4685	9618	16803
473	632	786	1155	1540	2165	2811	4445	9125	15940
430	577	717	1055	1406	1977	2566	4050	8330	14551
399	534	664	976	1302	1830	2376	3757	7712	13472
374	500	621	913	1218	1712	2223	3514	7214	12035
352	471	586	861	1148	1614	2095	3313	6801	11881
334	447	556	817	1089	1531	1988	3143	6452	11272
299	400	497	731	974	1369	1778	2811	5771	10082
273	365	454	667	889	1250	1623	2566	5268	9203
253	338	420	617	823	1157	1503	2376	4877	8520
236	316	393	578	770	1083	1406	2223	4562	7970
223	298	370	545	726	1021	1325	2096	4301	7514
211	283	351	517	689	968	1257	1988	4081	7129
202	270	335	493	657	923	1199	1895	3891	6797
193	258	321	472	629	884	1148	1815	3725	6508

Tabelle III. Stündliche Ausflußmenge in Kubik-

Länge der Leitung in *m*	Lichter Durch-								
	40	50	75	100	125	150	175	200	225
25	28	49	134	276	482	761	1119	1662	2096
50	20	35	95	195	341	538	791	1104	1482
75	16	28	78	159	278	439	646	902	1210
100	14	24	67	138	241	380	559	781	1048
125	12	22	60	123	216	340	500	698	937
150	11	20	55	113	197	311	457	638	856
175	11	19	52	106	185	292	429	599	804
200	10	17	48	98	170	269	395	552	741
225	9	16	45	92	161	254	373	521	699
250	9	15	44	87	153	241	354	494	663
275	8	15	41	83	145	229	337	471	632
300	8	14	39	80	139	220	323	451	605
350	7	13	36	74	129	203	299	417	560
400	7	12	34	69	121	190	280	390	524
450	7	12	32	65	114	179	264	368	494
500	6	11	30	62	108	170	250	349	469
600	6	10	27	56	98	155	228	319	428
700	5	9	25	52	91	144	211	295	396
800	5	9	24	49	85	134	198	276	371
900	5	8	22	46	80	127	186	260	349
1000	4	8	21	44	76	120	177	247	331
1225	4	7	19	39	68	108	158	221	296
1500	4	6	17	36	62	98	144	202	271
1750	3	6	16	33	58	91	134	187	251
2000	3	5	15	31	54	85	125	175	234
2225	3	5	14	29	51	80	118	165	221
2500	3	5	13	27	48	76	112	156	210
2750	3	5	13	26	46	73	107	149	200
3000	3	4	12	25	44	69	102	143	191

metern bei 15 *mm* Druck und 0·4 spez. Gewicht.

messer in *mm*									
250	275	300	350	400	450	500	600	800	1000
2588	3462	4304	6327	8835	11860	15399	24346	49978	87309
1830	2448	3043	4474	6247	8386	10888	17216	35340	61737
1495	1999	2485	3653	5101	6847	8890	14056	28855	50408
1294	1731	2152	3164	4418	5930	7699	12173	24989	43654
1158	1548	1925	2830	3951	5304	6886	10888	22351	39046
1057	1414	1757	2583	3607	4842	6286	9939	20404	35644
993	1328	1650	2426	3388	4548	5905	9336	19166	33481
915	1224	1522	2237	3124	4193	5444	8608	17670	30868
863	1154	1435	2109	2945	3953	5133	8115	16659	29103
819	1095	1361	2001	2794	3750	4869	7699	15805	27609
780	1044	1298	1908	2664	3576	4643	7341	15069	26325
747	1000	1242	1827	2550	3432	4445	7028	14428	25204
692	925	1150	1691	2361	3170	4115	6507	13357	23388
647	866	1076	1582	2209	2965	3850	6087	12495	21827
610	816	1014	1495	2082	2795	3629	5739	11780	20579
579	774	962	1415	1976	2652	3443	5444	11176	19523
528	707	879	1292	1803	2421	3143	4970	10202	17822
489	654	813	1196	1670	2241	2910	4601	9445	16500
458	612	761	1119	1562	2097	2722	4304	8835	15434
431	577	717	1021	1473	1977	2566	4058	8330	14551
409	547	681	1000	1397	1875	2435	3850	7902	13805
366	490	609	895	1249	1677	2178	3443	7068	12347
334	447	556	817	1141	1531	1988	3143	6452	11272
309	414	514	756	1056	1418	1840	2910	5974	10411
289	387	481	707	988	1326	1722	2722	5588	9761
273	365	454	667	931	1250	1623	2566	5268	9203
259	346	430	633	884	1186	1540	2434	4998	8731
247	330	410	603	842	1128	1468	2321	4765	8325
236	316	393	578	807	1083	1406	2223	4562	7970

Die Druckänderung ist also, wie schon oben erwähnt, von der Niveaudifferenz und vom spezifischen Gewichte des Gases abhängig. Steigt eine Leitung z. B. um 10 *m*, so wird eine Druckzunahme um 8 *mm* stattfinden und die Leitung ist dann für den Druckverlust (h — 8) *mm* zu berechnen; fällt sie hingegen um 10 *m*, so haben wir eine Druckabnahme um 8 *mm*, und daher den Druckverlust = (h + 8) *mm* zu setzen.

Monnier*) hat zur Ermittlung der Durchmesser einer Leitung graphische Tafeln entworfen, welche auf folgenden Betrachtungen fußen:

Setzen wir in den obigen Gleichungen $l = 1000$ und $s = 0{\cdot}42$, so wird

$$h = 84\,000\,000 \frac{Q^2}{d^5}$$

also

$$\sqrt{h} = Q \sqrt{\frac{84\,000\,000}{d^5}}.$$

Berechnet man damit $\sqrt{h}$ für ein bestimmtes Q (z. B. 100 m^3) und für ein bestimmtes d, so lassen sich für dieses d die Verhältnisse zwischen Ausflußmenge und Druckverlust pro 1 *km* Rohrlänge graphisch darstellen, indem man die Ausflußmenge als Abszissen und die Werte von $\sqrt{h}$ als Ordinaten eines rechtwinkligen Koordinatensystemes wählt. Der Rohrdurchmesser wird dann durch eine gerade Linie dargestellt, welche durch den Nullpunkt des Koordinatensystemes und durch den Endpunkt der Ordinate, welche diesem Q entspricht, geht. Für jeden Rohrdurchmesser ergibt sich eine besondere, vom Nullpunkt ausgehende gerade Linie. Sucht man für einen bestimmten Durchmesser den Druckverlust h_1 für eine von 1 *km* abweichende Länge l, so ist, da Rohrlänge und Druckverlust in einem einfachen Verhältnisse zueinander stehen, $h_1 = \frac{h\,l}{1000}$. Sucht man hingegen die einem bestimmten Druckverluste h_1 entsprechende Länge l, so ist $l = \frac{1000\,h_1}{h}$. Will man d und Q für irgend eine Länge l suchen, so ist $h = \frac{1000\,h_1}{l}$. Mittels dieses Wertes von h findet man im Diagramme ohne weiteres Q und d.

*) Aide-Mémoire pour le calcul des conduites de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage. Paris, Boudroy, 1876.
Dr. Schilling's Handbuch der Steinkohlengasbeleuchtung, 3. Aufl., p. 485 ff.

Wird, wie dies in Wirklichkeit meist der Fall ist, auf die ganze Länge des Rohrstranges an einer größeren Anzahl von Stellen Gas abgegeben, so verringert sich dementsprechend die hindurchströmende Gasmenge allmählich und der Rohrdurchmesser kann daher sukzessive verkleinert werden. Um unter diesen Umständen die Berechnung auszuführen, teilt man das ganze Gasabnahmegebiet (die zu beleuchtende Stadt, etc.) in Reviere, die von den bedeutenderen Straßen möglichst mitten durchschnitten und vom Hauptrohre aus durch Zweigleitungen mit Gas versorgt werden. Nach Ermittlung des Gasbedarfes jedes einzelnen Distriktes gibt man dem Hauptrohre solche Dimensionen, daß es bei einem bestimmten Druckverluste das ganze von den hinter dem betreffenden Strangstücke liegenden Distrikten benötigte Gasquantum zu führen vermag.

Werden n Abzweigungen von einer Leitung von der Länge l in gleichen Entfernungen voneinander mit gleichen Gasmengen gespeist und ist Q die Gasmenge, welche anfangs in die Leitung tritt, $\frac{q}{n}$ aber die Gasabgabe bei jeder Abzweigung, so ist der gesamte Druckverlust auf der Strecke l:

$$h = \frac{2\,Q^2 . l . s}{d^5}\left[1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6\,n}\right)\left(\frac{q}{Q}\right)^2\right]$$
$$= \frac{2\,Q^2 . l . s}{d^5} . A.$$

Wird auf der betrachteten Strecke kein Gas abgegeben, so ist $q = 0$ und daher $A = 1$. Wenn nun auch in der Praxis die Entfernungen der Abzweigungen voneinander, sowie die in selbe abzugebenden Gasmengen ungleich sind, so ist dies doch von so geringem Einflusse, daß die Formel auch in diesem Falle brauchbar bleibt.

Um auch hier die Monnier'schen Diagramme benützen zu können, setzt man in den ihnen zu Grunde liegenden Gleichungen $Q\sqrt{a}$ statt Q. Es ist dies nämlich jene Gasmenge, welche, alle Einzelabgaben zusammengenommen, am Ende der Leitung l abgegeben, denselben Druckverlust hervorrufen würde, wenn die eintretende Gasmenge Q ist. $Q\sqrt{a}$ sind dann als Abszissen im Diagramme einzusetzen.

Druckverluste, welche durch Richtungsänderungen in Bögen, T-Stücken, etc. entstehen, können in der Praxis vollständig vernachlässigt werden.

Die Zuleitungen verbinden die Leitungen in den Gebäuden sowie die Laternen mit den Hauptleitungen. Man verlegt sie mit

einem Gefälle gegen die Hauptleitung, sie sollen aber mit ihrem höchsten Punkte mindestens $^1/_2$ *m* unter dem Boden liegen, um das Gefrieren zu verhindern.

Die Weite der Zuleitungen wählt man wie folgt:

für	1—5	Flammen	20 *mm* =	$^3/_4$	engl.	Zoll
„	5—15	„	25 *mm* =	1	„	„
„	16-25	„	30 *mm* =	$1^1/_4$	„	„
„	26—40	„	35 *mm* =	$1^1/_2$	„	„
„	41—100	„	50 *mm* =	2	„	„
„	101—150	„	60 *mm* =	$2^1/_4$	„	„
„	151—250	„	75 *mm* =	3	„	„
„	251—500	„	100 *mm* =	4	„	„

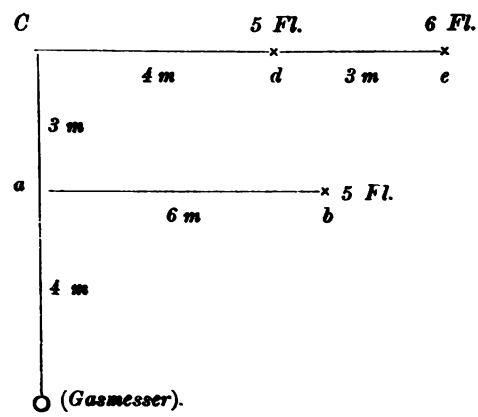
Die Zuleitungsrohre für einfache Straßenlaternen erhalten 20—25 *mm* lichten Durchmesser.

Gußeiserne Zuleitungsröhren sollen nicht unter 40 *mm* Innenweite besitzen.

Für lange Leitungen sind größere Rohrdimensionen zu wählen als die oben angegebenen.

Die Zuleitungen müssen unter allen Umständen durch einen vor dem Gasmesser angebrachten Haupthahn abschließbar sein und an manchen Orten muß die Zuleitung außerdem auch noch von der Straße aus absperrbar sein.

Die **Privatleitungen** führen das Gas von den Zuleitungen bis zu den Lampen. Sie werden fast ausnahmslos aus schmiedeisernen Röhren (in Zimmern manchmal aus Messingröhren) hergestellt. *)



*) Bleiröhren kommen nur selten zur Anwendung, u. zw. nur dort, wo sie nicht leicht mechanische Beschädigungen erleiden und keine leicht brennbaren Stoffe in der Nähe sind. Bleiröhren sollen von Ratten zerfressen werden.

Zur Dimensionierung von Privatleitungen kann die folgende Tabelle dienen:

Tabelle IV. — Flammenzahl bei 5 *mm* Druckverlust und 160 *l* Gaskonsum pro Stunde und Flamme:

Länge der Leitungen in *m*	Durchmesser in englischen Zollen								
	1/4″	3/8″	1/2″	5/8″	3/4″	1″	1 1/4″	1 1/2″	2″
	Durchmesser in *mm*								
	6	10	13	16	19	25	32	38	51
3	1	6	15	26	42	85	165	255	535
6	—	3	10	18	27	62	110	175	376
10	—	3	7	13	21	46	86	134	278
15	—	2	6	10	17	35	63	103	218
20	—	2	5	8	14	32	58	91	189
25	—	1	4	8	12	28	51	86	170
30	—	1	4	7	11	25	45	72	152
35	—	1	3	7	9	24	42	65	140
40	—	—	3	6	9	23	40	59	129
45	—	—	3	5	9	22	38	53	125
50	—	—	3	5	8	21	37	48	119
60	—	—	2	5	8	18	33	47	112
70	—	—	2	4	7	16	30	45	105
80	—	—	2	4	7	15	27	42	98
90	—	—	2	4	6	14	26	40	92
100	—	—	2	4	6	14	24	38	86
120	—	—	2	4	6	11	23	35	78
150	—	—	2	3	5	11	20	33	68
200	—	—	1	3	5	10	18	28	58
250	—	—	1	2	5	9	16	26	50
300	—	—	1	2	4	9	15	23	45

1/4zöllige Rohre (6 *mm*) können nur auf ganz kurze Strecken und als Zuleitung für einzelne Flammen verwendet werden.

Leitungen von gleichem Rohrdurchmesser speisen eine gleiche Anzahl von Flammen, wenn der Druckverlust **oder** die Länge der Leitung auf das n-fache steigt. So speist beispielsweise eine Leitung von 25 *mm* Innendurchmesser

bei 5 *mm* Druckverlust und 50 *m* Länge 21 Flammen
„ 4 *mm* „ „ 40 *m* „ 21 „
„ 3 *mm* „ „ 30 *m* „ 21 „

Beispiel: Eine Hausleitung (siehe beistehende Skizze) führt von dem im Keller liegenden Gasmesser ins Parterre (mit 5 Flammen)

und in den ersten Stock, in welchem an einer Stelle 5, an einer zweiten 3 Flammen gespeist werden sollen. — Einer Steigung der Leitung um 5 *m* entspricht eine Drucksteigung um 4 *mm*. Wir haben somit eine Drucksteigung:

vom Gasmesser bis zum Parterre (a): $\frac{4}{5} \times 4 = 3{\cdot}2$ *mm*

vom Parterre bis zum I. Stock (c): $\frac{3}{5} \times 4 = 2{\cdot}4$ *mm*

Total .. 5·6 *mm*

Da der Druckverlust von a bis d nicht mehr als 5 *mm* betragen soll, so darf der Druckverlust vom Gasmesser bis a nicht größer sein als die Drucksteigerung von a bis c, das ist als 2·4 *mm*.

Obige Tabelle gilt für 5 *mm* Druckverlust. Wir ziehen daher 2·4 von 5 *mm* ab und multiplizieren die Differenz $5 - 2{\cdot}4 = 2{\cdot}6$ mit der Länge der Leitung vom Gasmesser bis zum Punkte a:

$$4 \times (5 - 2{\cdot}4) = 10{\cdot}4 \ m$$

ist dann die entsprechende Länge, für welche aus der Tabelle der Rohrdurchmesser zu entnehmen ist. Zu speisen sind von dem Rohrstrange 16 Flammen (5 im Parterre und 5 + 6 im ersten Stocke). Bei einer Länge von 10 *m* sind für 13 Flammen $^5/_8$zöllige, für 21 Flammen aber $^3/_4$zöllige Rohre erforderlich; wir werden letztere wählen.

Die 6 *m* lange Strecke im Parterre soll bei einem Druckverluste von 5 *mm* 5 Flammen speisen. Man dividiert den der Tabelle zu Grunde gelegten Druckverlust durch den im betrachteten Falle zulässigen, multipliziert den Quotienten mit der Länge der Strecke $a\,b$ und sucht in der Tabelle für die so berechnete Länge und die zu speisende Flammenzahl den erforderlichen Rohrdurchmesser. In unserem Falle haben wir also $\frac{5}{5} \times 6 = 6$ *m*. Nach der Tabelle entspricht dieser Rohrlänge für 5 Flammen ein Durchmesser zwischen 10 *mm* und 13 *mm*. Man wird auch hier das weitere Rohr wählen.

Im Punkte e heben sich, ebenso wie in a, Druckverlust und Drucksteigerung auf. Da die Drucksteigerung von a bis c 2·4 *mm* beträgt, muß der Druckverlust ebenso groß sein. Wir haben also $3 \times 2{\cdot}4 = 7{\cdot}2$ *m* als die entsprechende Länge der Leitung in unserer Tabelle und fanden für 11 Flammen $^5/_8$zöllige Rohre erforderlich.

Die Leitungslänge von c bis e beträgt 8 *m*, wovon auf der Strecke c bis d (4 *m*) zur Speisung von 5 Flammen und auf der Strecke d bis e (3 *m*) zur Speisung von 6 Flammen kommen. Für die ganze Strecke von c bis e soll der Druckverlust nur 5 *mm*

betragen. Man dividiert den Druckverlust, auf den sich die Tafel bezieht (5 *mm*) durch die Länge *c e* und multipliziert den Quotienten mit der Länge *c d*; also

$$\frac{5}{7} \times 4 = 3\,mm;$$

den so erhaltenen Druckverlust zieht man von dem gestatteten ab und erhält so $5 - 3 = 2\,mm$ als zulässigen Druckverlust auf der Strecke *a d*. Multipliziert man diese Zahl mit der Länge, so ergibt sich $4 \times 2 = 8$ als entsprechende Länge für 11 Flammen, der nach der Tabelle $^5/_8$zöllige Rohre genügen.

Für die Strecke *d e* endlich ist $\frac{5}{7} \times 3 = 2$ und $5 - 2 = 3$; also $3 \times 3 = 9\,m$ die betreffende Rohrlänge der Tabelle. Derselben entsprechen halbzöllige Rohre.

Herstellung der Rohrleitungen.

Für die Hauptleitungen verwendet man gewöhnlich gußeiserne Muffenrohre, seltener solche mit angegossenen Flanschen.

Die Breite des Muffenaufsatzes für das Sitzende im Muffensitze beträgt 0·5 δ.

Die Länge des konischen Überganges vom Muffensitze bis zum glatten Rohre beträgt $t' = t - 35\,mm$.

Die normalen Wanddicken gelten für Rohre, welche einem Betriebsdrucke von 10 at. und einem Probedrucke von im Maximum 20 at. ausgesetzt sind und vor allem Wasserleitungszwecken dienen. Für gewöhnliche Druckverhältnisse von Wasserleitungen (4—7 at.) ist eine Verminderung der Wanddicken zulässig, desgleichen für Leitungen, in welchen nur ein geringer Druck herrscht (Gas-, Wind-, Kanalisationsleitungen, etc.). Für Dampfleitungen, welche größeren Temperaturdifferenzen und dadurch entstehenden Spannungen, sowie für Leitungen, welche unter besonderen Verhältnissen schädigenden äußeren Einflüssen ausgesetzt sind, ist es empfehlenswert, die Wanddicken entsprechend zu erhöhen.

Der äußere Durchmesser des Rohres ist feststehend und sind Änderungen der Wanddicke nur auf den lichten Durchmesser von Einfluß. Als unabänderlich normal gilt ferner die innere Muffenform und die Art des Anschlusses an das Rohr sowie die Bleifugendicke. Aus Gründen der Fabrikation sind bei geraden Normalrohren Abweichungen an den durch Rechnung ermittelten Gewichten im Maximum von ± 3% gestattet.

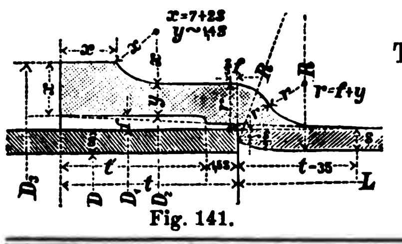
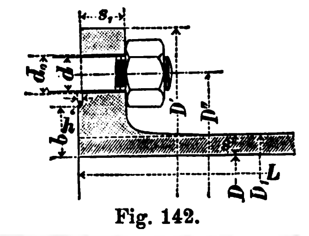


Fig. 141.

Tabelle V. Deutsche Rohrnorma-
Flansche-
Gemeinschaftlich aufgestellt von de-
Vereine deutscher Gas- un-

Lichter Durchmesser D	Normale Wanddicke δ	Äußerer Rohrdurchmesser $D_1 = D + 2\delta$	Übliche Baulänge L	Muffenrohre (Fig. 141)									
				Muffen									
				Muffentiefe t	Bleifugendicke f	Lichte Weite $D_2 = D_1 + 2f$	Wanddicke $y = 1{\cdot}4\,\delta$	Äußer. Durchm. $D_3 = D_2 + 2y$	Wulst: Dicke u. Breite $x = 7 + 2\delta$	Wulst: Durchm. $= D_3 + 2x$	Zentrierungsring: Großer Durchm.	Zentrierungsring: Kleiner Durchm.	Zentrierungsring: Tiefe = 1·5 δ
mm	mm	mm	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
40	8	56	2	74	7	70	11	92	23	116	65	61	12
50	8	66	2	77	7·5	81	11	103	23	127	76	71	12
60	8·5	77	2	80	7·5	92	12	116	24	140	87	82	13
70	8·5	87	3	82	7·5	102	12	126	24	150	97	92	13
80	9	98	3	84	7·5	113	12·5	138	25	163	108	103	14
90	9	108	3	86	7·5	123	12·5	148	25	173	118	113	14
100	9	118	3	88	7·5	133	13	159	25	183	128	123	14
125	9·5	144	3	91	7·5	159	13·5	186	26	211	154	149	14
150	10	170	3	94	7·5	185	14	213	27	239	180	175	15
175	10·5	196	3	97	7·5	211	14·5	240	28	267	206	211	16
200	11	222	3	100	8	238	15	268	29	296	233	228	16
225	11·5	248	3	100	8	264	16	296	30	324	259	254	17
250	12	274	4	103	8·5	291	17	325	31	353	285	280	18
275	12·5	300	4	103	8·5	317	17·5	352	32	381	311	306	19
300	13	326	4	105	8·5	343	18	379	33	409	337	332	20
325	13·5	352	4	105	8·5	369	19	407	34	437	363	358	20
350	14	378	4	107	8·5	395	19·5	434	35	465	389	384	21
375	14	403	4	107	9	421	20	461	35	491	415	409	21
400	14·5	429	4	110	9·5	448	20·5	489	36	520	442	436	22
425	14·5	454	4	110	9·5	473	20·5	514	36	545	467	461	22
450	15	480	4	112	9·5	499	21	541	37	573	493	487	23
475	15·5	506	4	112	9·5	525	21·5	568	38	601	519	513	23
500	16	532	4	115	10	552	22·5	597	39	630	545	539	24
550	16·5	583	4	117	10	603	23	649	40	683	596	590	25
600	17	634	4	120	10·5	655	24	703	41	737	648	641	26
650	18	686	4	122	10·5	707	25	757	43	793	700	693	27
700	19	738	4	125	11	760	26·5	813	45	850	753	746	28
750	20	790	4	127	11	812	28	868	47	906	805	798	30
800	21	842	4	130	12	866	29·5	925	49	964	858	850	31
900	22·5	945	4	135	12·5	970	31·5	1033	52	1074	962	954	33
1000	24	1048	4	140	13	1074	33·5	1141	55	1184	1065	1057	36
1100	26	1052	4	145	13	1178	36·5	1251	59	1296	1169	1161	39
1200	28	1256	4	150	13	1282	39	1360	63	1408	1273	1265	42

ien für gemeinsame Muffen- und
ohre.
ereine deutscher Ingenieure und dem
/asserfachmänner.


Fig. 142.

	Gewicht			Lichter Durchmesser D	Flanschenrohre (Fig. 142)										
	pro laufendem m Baulänge				Übliche Baulänge	Flanschen								Gewicht	
									Schrauben			Dichtungsleiste			
										Dicke					
der Muffe	exkl. Muffe	inkl. Muffe abgerundet	des Bleiringes*)			Durchmesser	Dicke	Lochkreis-Durchmesser	Anzahl	engl. Zoll	mm	Breite	Höhe	einer Flansche	pro laufendem m Baulänge
kg	kg	kg	kg	mm	m	mm	mm	mm				mm	mm	kg	kg
2·2	8·75	10	0·51	40	2	140	18	110	4	1/2	13	25	3	1·89	10·64
2·8	10·57	12	0·69	50	2	160	18	125	4	5/8	16	25	3	2·41	12·98
3·4	13·26	15	0·73	60	2	175	19	135	4	5/8	16	25	3	2·96	16·22
4·0	15·20	16·5	0·94	70	3	185	19	145	4	5/8	16	25	3	3·21	17·34
4·6	18·24	20	1·05	80	3	200	20	160	4	5/8	16	25	3	3·84	20·80
5·3	20·29	22	1·15	90	3	215	20	170	4	5/8	16	25	3	4·37	23·20
6·0	22·34	24	1·35	100	3	230	20	180	4	3/4	19	28	3	4·96	25·65
8·8	29·10	32	1·70	125	3	260	21	210	4	3/4	19	28	3	6·26	33·07
9·7	36·44	40	2·14	150	3	290	22	240	6	3/4	19	28	3	7·69	41·57
11·7	44·36	48	2·46	175	3	320	22	270	6	3/4	19	30	3	8·96	50·33
13·8	52·86	57	2·97	200	3	350	23	300	6	3/4	19	30	3	10·71	60·00
16	61·95	67	3·67	225	3	370	23	320	6	3/4	19	30	3	11·02	69·30
19	71·61	76	4·30	250	3	400	24	350	8	3/4	19	30	3	12·98	80·26
22	81·85	87	4·69	275	3	425	25	375	8	3/4	19	30	3	14·41	91·46
25	92·68	99	5·09	300	3	450	25	400	8	3/4	19	30	3	15·32	102·89
28	104·08	111	5·16	325	3	490	26	435	10	7/8	22	35	4	19·48	117·07
31	116·07	124	5·53	350	3	520	26	465	10	7/8	22	35	4	21·29	130·26
34	124·04	133	6·64	375	3	550	27	495	10	7/8	22	35	4	24·29	140·23
37	136·89	146	7·46	400	3	575	27	520	10	7/8	22	35	4	25·44	153·85
41	145·15	155	7·89	425	3	600	28	545	12	7/8	22	35	4	27·64	163·58
45	158·87	170	8·33	450	3	630	28	570	12	7/8	22	35	4	29·89	178·80
49	173·17	185	8·77	475	3	655	29	600	12	7/8	22	40	4	32·41	194·78
54	188·04	202	10·1	500	3	680	30	625	12	7/8	22	40	4	34·69	211·17
62	212·90	228	11·7	550	3	740	33	675	14	1	26	40	5	44·28	242·42
72	238·90	257	13·3	600	3	790	33	725	16	1	26	40	5	47·41	270·51
84	273·86	295	14·4	650	3	840	33	775	18	1	26	40	5	50·13	307·28
97	311·15	335	15·5	700	3	900	33	830	18	1	26	40	5	56·50	348·82
112	350·76	379	17·4	750	3	950	33	880	20	1	26	40	5	59·81	390·63
128	392·69	425	20·2	800											
162	472·76	513	24·7	900											
197	559·76	609	29·2	1000											
240	666·81	727	34	1100											
285	783·15	857	39	1200											

Die Schenkellänge der Flanschenkrümmer und T-Stücke mit dem Abzweige D beträgt: L = D + 100 *mm*. — Hat der Abzweig den Durchmesser d, so wird die Schenkellänge des Abzweiges von Mitte Hauptrohr aus gemessen:

$$C = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} + 100\ mm.$$

Für Abzweigungen, Krümmungen und als Verbindungsstücke für gußeiserne Rohrleitungen sind vom Vereine deutscher Ingenieure und dem Vereine deutscher Gas- und Wasserfachmänner folgende Normalformen eingeführt worden:

Fig. 143. Fig. 144.

A- und B-Stücke (Fig. 143, 144),

$a = 0{\cdot}2\,D + 0{\cdot}5\,d + 100$ *mm*,

$l = 0{\cdot}1\,d + 120$ *mm*,

$r = 0{\cdot}05\,d + 40$ *mm*,

t = Muffentiefe des Abzweiges für d als lichtem Durchmesser.

D Durchmesser des Hauptrohres *mm*	d Durchmesser des Abzweiges *mm*	L Nutzlänge *m*
40 bis 100	40 bis 100	0·80
125 „ 325	40 „ 325	1·00
350 „ 500	40 „ 300	1·00
	325 „ 500	1·25
550 „ 750	40 „ 250	1·00
	275 „ 500	1·25
	550 „ 750	1·50

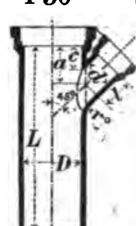
C-Stücke (Fig. 145).

$a = 0{\cdot}1\,D + 0{\cdot}7\,d + 80$ *mm*

$c = 0{\cdot}1\,D + 80$ *mm*

$l = 0{\cdot}75\,a$

$r = d$


Fig. 145.

D Durchmesser des Hauptrohres *mm*	d Durchmesser des Abzweiges *mm*	L Nutzlänge *m*
40 bis 100	40 bis 100	0·80
125 „ 275	40 „ 275	1·00
300 „ 425	40 „ 250	1·00
	275 „ 425	1·25
450 „ 600	40 „ 250	1·00
	275 „ 420	1·25
	450 „ 600	1·50
650 „ 750	40 „ 250	1·00
	275 „ 420	1·25
	450 „ 600	1·50
	650 „ 750	1·75

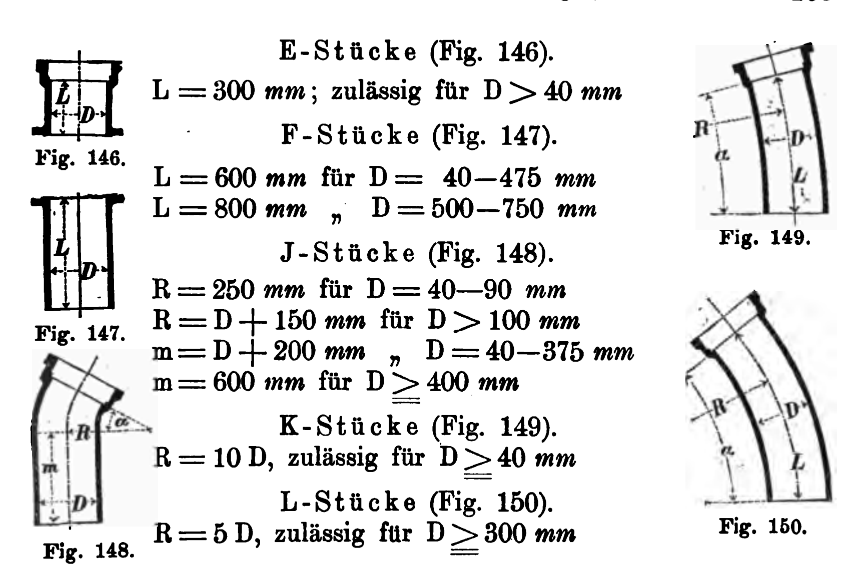


Fig. 146.

Fig. 147.

Fig. 148.

Fig. 149.

Fig. 150.

E-Stücke (Fig. 146).

L = 300 *mm*; zulässig für D > 40 *mm*

F-Stücke (Fig. 147).

L = 600 *mm* für D = 40—475 *mm*
L = 800 *mm* „ D = 500—750 *mm*

J-Stücke (Fig. 148).

R = 250 *mm* für D = 40—90 *mm*
R = D + 150 *mm* für D > 100 *mm*
m = D + 200 *mm* „ D = 40—375 *mm*
m = 600 *mm* für D ≧ 400 *mm*

K-Stücke (Fig. 149).

R = 10 D, zulässig für D ≧ 40 *mm*

L-Stücke (Fig. 150).

R = 5 D, zulässig für D ≧ 300 *mm*

Gewichte gußeiserner Rohrformstücke in *kg*.

D *mm*	A-Stücke (Fig. 143) d (in *mm*) =							B-Stücke (Fig. 144) d (in *mm*) =						
	D	80	100	150	200	300	400	D	80	100	150	200	300	400
40	14	—	—	—	—	—	—	14	—	—	—	—	—	—
50	19	—	—	—	—	—	—	19	—	—	—	—	—	—
60	22	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	—	—
70	27	—	—	—	—	—	—	27	—	—	—	—	—	—
80	30	30	—	—	—	—	—	31	31	—	—	—	—	—
90	33	32	—	—	—	—	—	34	33	—	—	—	—	—
100	37	35	37	—	—	—	—	38	36	38	—	—	—	—
125	54	49	51	—	—	—	—	55	50	52	—	—	—	—
150	68	59	63	68	—	—	—	70	60	64	70	—	—	—
175	88	79	81	84	—	—	—	90	80	82	86	—	—	—
200	97	88	90	91	97	—	—	100	89	91	94	100	—	—
225	106	95	97	100	104	—	—	110	96	98	102	107	—	—
250	125	111	113	116	121	—	—	130	112	114	118	124	—	—
275	144	126	128	131	136	—	—	150	127	129	133	139	—	—
300	162	146	148	152	155	162	—	170	147	149	154	158	170	—
350	241	174	178	182	187	199	—	250	175	179	184	190	207	—
400	299	210	212	216	222	234	299	310	211	213	218	225	242	310
450	348	240	243	248	255	268	340	354	246	249	254	260	276	346
500	414	284	288	293	300	312	388	416	287	290	295	301	320	396
550	562	327	330	337	346	426	452	582	328	331	340	350	437	468
600	630	367	370	377	386	473	500	658	368	371	389	390	485	516



Fig. 151.

R-Stücke (Übergangsrohr) (Fig. 151) L = 1·0 *m*

Ü-Stücke (Überschieber) (Fig. 152).

L = 4 t, wenn t die D entsprechende Muffentiefe ist.

AA-, BB- und CC-Stücke haben zwei gegenüberliegende Abzweigungen; die Abmessungen sind dieselben wie bei einfachen Stücken.

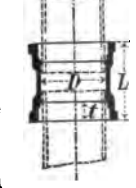


Fig. 152.

Für die Anordnung der Schraubenlöcher in den Flanschen gilt die Regel, daß in der Vertikalebene durch die Achse des Rohres sich keine Schraubenlöcher befinden sollen.

Gewichte gußeiserner Rohrformstücke in *kg*.

D *mm*	C-Stücke (Fig. 145) d (in *mm*) = D	80	100	150	200	300	Ü-Stücke (Fig. 152) *kg*	E-Stücke (Fig. 146) *kg*	F-Stücke (Fig. 147) *kg*	K-Stücke (Fig. 149) Winkel *α* = 45°	30°	22·5°	15°
40	16	—	—	—	—	—	7	9	8	7	6	—	—
50	21	—	—	—	—	—	8	11	10	9	7	—	—
60	25	—	—	—	—	—	10	13	12	13	9	—	—
70	31	—	—	—	—	—	12	15	14	16	13	—	—
80	37	37	—	—	—	—	14	17	16	21	16	14	—
90	40	49	—	—	—	—	17	19	18	25	18	16	—
100	48	42	48	—	—	—	19	21	20	30	22	18	—
125	65	57	60	—	—	—	24	26	26	45	33	28	—
150	82	60	72	82	—	—	31	32	32	66	48	39	—
175	106	88	91	101	—	—	38	39	40	94	66	53	—
200	119	95	98	108	119	—	45	47	48	—	87	70	—
225	132	102	105	115	126	—	53	55	54	—	112	90	—
250	152	115	118	128	139	—	62	62	63	—	142	113	83
275	178	133	136	146	157	—	71	70	71	—	176	140	—
300	229	149	152	162	173	229	82	78	80	—	215	170	123
325	255	164	167	177	188	245	91	85	90	—	—	202	—
350	282	179	182	192	203	261	103	95	100	—	—	240	173
375	310	199	202	212	223	281	114	104	110	—	—	272	—
400	354	218	221	231	242	309	125	116	120	—	—	—	230
425	371	229	232	243	256	330	135	126	130	—	—	—	—
450	457	250	253	263	276	355	146	138	140	—	—	407	290
475	500	270	273	284	297	380	157	152	150	—	—	—	—
500	550	294	297	307	320	410	175	167	212	—	—	—	376

Gewichte gußeiserner Rohrformstücke in *kg*

D *mm*	R-Stücke (Fig. 150) Lichter Durchmesser d des Muffenendes in *mm*																
	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
60	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	19	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	21	22	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90	23	25	27	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	24	26	30	32	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
125	27	29	32	35	37	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	34	35	38	40	43	45	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
175	41	43	45	47	49	51	56	62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	—	49	52	54	56	58	63	69	71	—	—	—	—	—	—	—	—
225	—	—	58	61	62	64	69	75	80	82	—	—	—	—	—	—	—
250	—	—	66	68	70	72	77	82	88	90	93	—	—	—	—	—	—
275	—	—	—	76	77	79	84	90	96	102	104	105	—	—	—	—	—
300	—	—	—	82	84	86	91	97	103	110	118	124	125	—	—	—	—
325	—	—	—	—	94	96	100	106	112	119	126	134	136	137	—	—	—
350	—	—	—	—	—	103	108	114	120	127	134	141	146	150	—	—	—
375	—	—	—	—	—	—	118	124	130	136	142	148	154	162	167	—	—
400	—	—	—	—	—	—	—	130	136	142	148	157	163	172	176	—	—
425	—	—	—	—	—	—	—	—	145	154	160	166	174	184	190	198	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	166	172	178	185	194	204	212	—
475	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	184	190	196	204	218	224	232
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	208	215	232	238	245
550	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	260	270	280

Die einzelnen Rohre müssen vor ihrer Verwendung auf Dichtigkeit geprüft werden; das geschieht, indem man sie mit Wasser füllt und einem Drucke (von gewöhnlich 6 at.) aussetzt. Sie dürfen hiebei außen kein Wasser zeigen. (Auf eine Betauung bei Anwendung von kaltem Wasser ist Rücksicht zu nehmen). Zweckmäßig verschließt man dann das Rohr an den Enden mit Deckeln, bringt es unter Wasser und preßt Luft ein (1—2 at.); hiebei dürfen im Wasser keine Luftblasen aufsteigen. Statt des Einlegens in Wasser kann man die (dünneren) Rohre auch mit Seifenwasser bestreichen und dann Luft einpressen.

Um Muffenverbindungen zu dichten, werden die Rohre so zusammengeschoben, daß zwischen Rohrwand und Muffe eine rings gleich breite Fuge frei bleibt, in die man um das Rohr gelegte Teerstricke gut einstemmt, so daß die Hälfte der Muffentiefe ausgefüllt ist. Nun verschließt man die Muffenmündung mit einer Tonwulst und gießt den noch freien Raum mit geschmolzenem Blei aus,

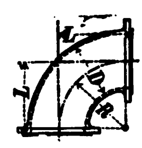
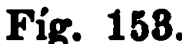



Fig. 153.

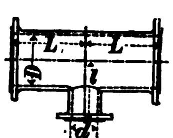


Fig. 154.

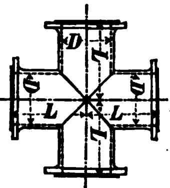


Fig. 155.

Gewichtstabelle für gußeiserne Flanschen-Formstücke.

D *mm*	Schenkellänge *mm*	Krümmer, 90° (Fig. 153)	T-Stücke (Fig. 154)	Kreuzstücke (Fig. 155)
		Gewicht in *kg*		
40	140	6	8	11
50	150	8	12	15
60	160	9	15	18
70	170	12	18	22
80	180	14	20	27
90	190	17	25	30
100	200	20	28	37
125	225	28	38	51
150	250	35	50	65
175	275	43	67	85
200	300	54	80	105
225	325	65	96	127
250	350	75	112	150
275	375	90	140	180
300	400	102	165	220
325	425	122	200	265
350	450	145	230	310
375	475	167	265	355
400	500	187	295	405

das nach dem Erkalten mit Hammer und stumpfem Meißel noch fester eingetrieben wird.

Zu diesen Muffendichtungen braucht man an Teerstricken und Blei wie aus der Tabelle auf Seite 207 ersichtlich.

Haben die beiden zu verbindenden Rohre keine Muffen, so wird eine Doppelmuffe übergeschoben.

Die Rohre müssen so verlegt werden, daß ihre Oberkannte etwa 1 *m*, in verkehrsreichen Straßen aber mindestens 0·7 *m* unter dem Straßenniveau liegt. Die sehr sorgfältig und gerade herzustellende Grabensohle erhält für Rohre bis zu 100 *mm* Durchmesser 0·6 *m*, für solche bis $^1/_2$ *m* Durchmesser 1 *m*, für noch

Muffen *mm*	Bleiringhöhe *mm*	Blei *kg*	Teerstrickhöhe *mm*	Teerstrick *kg*
40	35	0·511	39	0·050
50	35	0·690	42	0·073
70	40	0·944	42	0·087
100	40	1·345	48	0·142
120	40	1·414	51	0·158
150	45	2·144	49	0·205
170	45	2·462	52	0·250
200	45	2·965	54	0·312
220	50	3·665	50	0·322
250	50	4·298	51	0·385
300	50	5·090	54	0·482
350	50	5·529	56	0·543
400	50	7·456	59	0·772
450	50	8·328	61	0·891
500	55	10·132	59	0·953
600	55	13·330	64	1·361

weitere Rohre aber eine entsprechend größere Breite. Die Rohre werden entweder unmittelbar auf die Grabensohle oder auf je zwei Steine (einer unmittelbar hinter der Muffe, der zweite etwa 1 *m* vom Schwanzende des Rohres) gelegt. Für große Rohre werden auch Unterlagen aus imprägniertem Holze oder Gußeisen, ja selbst gemauerte Bögen angewendet. Müssen Rohre im Rohrgraben verkürzt werden, so werden sie abgehauen, indem man das Rohr mit einem Kreuzmeißel ringsherum so weit einhaut, daß nur noch eine geringe Wandstärke stehen bleibt, dann das liegenbleibende Rohr mit einem Stück Holz fest unterkeilt und nun mit einem Vorschlaghammer das abzutrennende Rohrstück abschlägt. Doch hat man zu diesem Zwecke auch transportable Rohrschneidapparate.

Um den sich im Rohrstrange sammelnden Kondensationsprodukten einen Abfluß zu ermöglichen, erhält die Leitung ein Gefälle von 7 bis 8 *mm* pro 1 *m* Baulänge. Nach Fertigstellung einer Rohrstrecke wird sorgfältig Erde über die Rohre gestopft, dann eine $^1/_2$ bis $^3/_4$ *m* hohe Erdschicht eingeschüttet und mit flachen Stößeln festgestampft und dies so lange wiederholt, bis der Graben gefüllt ist. Ist eine Rohrleitung durch Kanäle zu legen, so schiebt man ein Schutzrohr über dieselbe und vermeidet, eine Verbindungsstelle in den Kanal zu bekommen. Bei Brücken legt man die Leitungen gewöhnlich in Holzkästen, die seitlich an den Trägern

befestigt sind. Bei engeren Rohrleitungen verwendet man für Brücken schmiedeeiserne Rohre; sind die Brücken großen Schwankungen ausgesetzt, so empfehlen sich Gummidichtungen, und dort, wo große Temperaturdifferenzen vorkommen, schaltet man in die Leitung eine Stopfbüchse ein.

Soll an eine alte, mit Gas gefüllte, oder, wie man sagt, unter Druck stehende Leitung eine neue angeschlossen werden, so muß man vorher die alte Leitung zu beiden Seiten der Arbeitsstelle verschließen. Das geschieht, indem man in das Rohr an zwei nicht zu weit voneinander entfernten Stellen Löcher von 25 bis 50 *mm* Weite macht, durch dieselben Tier- oder Kautschukblasen einschiebt, die an ein Hahnstück festgebunden sind, und sie mit dem Munde, etc. aufbläst, worauf man den Anschluß bewerkstelligen kann.

In London werden die Rohre in unterirdischen Kanälen (Subways) verlegt, die, um Explosionen zu verhüten, gut ventiliert sein müssen. Das gestattet eine leichte Prüfung der Leitungen und erspart das Aufgraben der Straßen.

Es wurde schon oben erwähnt, daß die Gasrohre zur Ermöglichung des Abflusses von Kondensationsprodukten ein Gefälle erhalten. Als Sammelbehälter für diese Produkte dienen die Wassertöpfe oder Syphons, die an den tiefsten Stellen der Leitung eingebaut werden. Sie bestehen aus einem zylindrischen gußeisernen Behälter, in den beiderseits die Rohrleitung mündet und der oben durch einen gut abgedrehten Flanschendeckel verschlossen ist. Durch diesen reicht ein 25 *mm* weites schmiedeeisernes Rohr bis etwa 30 *mm* ober dem Boden. Auf dieses Rohr kann zum Entleeren des Wassertopfes eine Pumpe aufgeschraubt werden.

Bezeichnet D den lichten Durchmesser und H die Höhe der Wassertöpfe, so wählt man:

für	40— 50 *mm*	weite	Rohre	D = 200 *mm*,	H = 350 *mm*
„	60— 70 *mm*	„	„	D = 250 *mm*,	H = 400 *mm*
„	100—125 *mm*	„	„	D = 300 *mm*,	H = 500 *mm*
„	150—225 *mm*	„	„	D = 350 *mm*,	H = 550 *mm*
„	250—275 *mm*	„	„	D = 400 *mm*,	H = 600 *mm*
„	300—325 *mm*	„	„	D = 500 *mm*,	H = 750 *mm*
„	350—425 *mm*	„	„	D = 600 *mm*,	H = 900 *mm*
„	450—500 *mm*	„	„	D = 700 *mm*,	H = 1000 *mm*

Manchmal haben die Wassertöpfe eine bis 60 oder 70 *mm* ober dem Boden hinabreichende Scheidewand, was den Vorteil bietet, daß man durch Füllen derselben mit Wasser einen Teil des Rohrstranges (bei nötig werdenden Reparaturen) absperren kann

Die fertig gelegte Leitung wird auf ihre Dichtigkeit geprüft, indem man sie abschließt und mittels einer Luftpumpe einen Druck von 250—300 *mm* Wassersäule herstellt; die Prüfung ganzer Stadtrohrnetze mittels eines Gasmessers oder einer Regulierglocke, indem man bei gut abgeschlossenem Rohrnetze sieht, ob ein eingeschalteter Gasmesser oder der Stationsregulator unveränderten Stand erhalten. Undichtheiten der Rohrleitung verursachen einen Gasverlust (Leckage), der gewöhnlich 5—10% beträgt, aber nicht über 20% ansteigen soll.

Bestehende Undichtheiten findet man am besten durch den Geruch (Aufgraben der Leitung an einzelnen Stellen).

Dort, wo im Beleuchtungsrayon bedeutende Niveaudifferenzen vorkommen, sind, wenn die Speisung durch ein gemeinsames Hauptrohr erfolgt, Distriktsregulatoren einzuschalten.

Der Anschluß von Zuleitungen oder Privatleitungen erfolgt entweder durch in die Hauptleitung eingesetzte T-Stücke, oder durch Anbohren des Hauptrohres, um das man eine Rohrschelle legt, in deren Muffe die Zweigleitung in bekannter Weise mit Blei eingedichtet wird. Die Dichtung zwischen Rohrschelle und Hauptrohr geschieht am besten mittels eines mit Hanf umwickelten und mit Mennige getränkten Pappringes. Ein direktes Einschrauben in das Hauptrohr ist nur dann zulässig, wenn der Durchmesser des Zuleitungsrohres nicht größer ist als 1/4 des Hauptrohrdurchmessers.

Die Weite der Zuleitungen ergibt sich aus folgendem:

für	einfache Laternen	. . 20—25	*mm*
„	1— 5 Flammen	. . 20	*mm*
„	5— 15 „	. . 25	*mm*
„	16— 25 „	. . 30	*mm*
„	26— 40 „	. . 35	*mm*
„	41—100 „	. . 50	*mm*
„	101—150 „	. . 60	*mm*
„	151—250 „	. . 75	*mm*
„	251—500 „	. . 100	*mm*

Die schmiedeisernen Zuleitungsrohre sollen nie unter 20 *mm* Weite haben. Die gebräuchlichen Dimensionen der Schmiedeisenrohre sind folgende:

Lichter Durchmesser		Äußerer Durchmesser *mm*	Gewicht pro laufenden Meter *kg*
engl. Zoll	*mm*		
1/8	5	10	0·70
1/4	8	13·5	0·60
3/8	12	16·5	0·82
1/2	14·5	20·5	1·18
3/4	21	26·5	1·75
1	27	33·5	2·45
1 1/4	35	41·5	3·6
1 1/2	41	48	4·5
1 3/4	44	51·5	5·3
2	50·5	59	6·0
2 1/4	60	69	7·1
2 1/2	67	76	8·2
2 3/4	73	82	9·0
3	78·5	88·5	10·1
3 1/2	91	102	11·5
4	103	114	13·5

Die Verbindung der schmiedeisernen Rohre erfolgt durch Zusammenschrauben auf die ungefähre Länge des Rohrdurchmessers. Zur Dichtung legt man um das Gewinde einen mit Mennige getränkten Flachsfaden. Die hiebei angewendeten sogenannten „Gasgewinde“ haben folgende Dimensionen:

Lichter Rohrdurchmesser in		Äußerer Gewindedurchmesser in		Tiefe des Schraubenganges in		Anzahl der Gänge auf	
engl. Zoll	*mm*	engl. Zoll	*mm*	engl. Zoll	*mm*	1 engl. Zoll	3 *mm*
1/4	6·5	1/2	13	1/32	0·8	19	22·5
3/8	9·5	5/8	16	1/32	0·8	19	22·5
1/2	12·5	13/16	20	1/14	1·1	14	16·5
3/4	19·0	1 1/32	26·5	1/14	1·1	14	16·5
1	25·5	1 1/4	33	1/16	1·6	11	13
1 1/4	32·0	1 5/8	41	1/16	1·6	11	13
1 1/2	38·5	1 17/32	48	1/16	1·6	11	13
2	51·0	2 5/16	60	1/16	1·6	11	13

Das Gasgewinde wird nach dem lichten Rohrdurchmesser, das Messinggewinde aber nach dem äußeren Schraubendurchmesser bezeichnet.

An den Wänden werden die Rohre in Entfernungen von 1 bis 1·2 *m* mit Rohrhaken oder Rohrbändern befestigt. Das

Gasgewinde nach Whitworth:

Rohrdurchmesser in engl. Zoll		Gänge auf 1 engl. Zoll	Rohrdurchmesser in engl. Zoll		Gänge auf 1 engl. Zoll
im Lichten	außen		im Lichten	außen	
$^1/_4$	0·520	19	$1^3/_4$	2·047	11
$^3/_8$	0·665	19	2	2·347	11
$^1/_2$	0·822	14	$2^1/_4$	2·587	11
$^3/_4$	1·034	14	$2^1/_2$	3·001	11
1	1·302	11	$2^3/_4$	3·247	11
$1^1/_4$	1·650	11	3	3·485	11
$1^1/_2$	1·882	11	4	4·339	11

Legen der Privatleitungen beginnt vom Gasmesser an, und man gibt denselben, um den Ablauf von Kondensationswasser zu ermöglichen, wenn irgend tunlich ein Gefälle gegen diesen. Andernfalls sind an geeigneten Stellen Wassersäcke anzuordnen, die mit einer Schraube verschlossen sind, deren Öffnung die Kondensationsprodukte ablaufen läßt.

Die fertige Leitung muß gleichfalls auf Dichtigkeit geprüft werden; es genügt, wenn sie einen Druck von 50 bis 60 *cm* Wassersäule durch 5 Minuten unverändert erhält. Undichte Stellen (die man durch Bestreichen mit Seifenwasser oder durch Ableuchten erkennt) sollen durch Auswechseln der schadhaften Teile gedichtet werden.

Die Beseitigung von Verunreinigungen und Verstopfungen aus Privatleitungen erfolgt mit Hilfe von Druckpumpen, die auch zur Dichtigkeitsprüfung der Leitungen mit Vorteil Verwendung finden können.

Der Gasverbrauch wird mit Hilfe von Gasmessern (Gasuhren) gemessen, von denen man nasse und trockene unterscheidet.

Die nassen Gasuhren (Fig. 156, 157) bestehen aus einer zylindrischen Trommel mit Wasserabsperrung, deren Achse horizontal liegt, in welcher ein Schaufelrad mit Seitenwänden an jeder Schaufel so eingebaut ist, daß es sich beim Durchströmen von Gas um seine Achse dreht. Die Anzahl der Umdrehungen wird mittels eines geeigneten Apparates gezählt. Um aus der Zahl der Umdrehungen die Gasmenge, welche den Apparat passiert hat, ableiten zu können, muß der Flüssigkeitsspiegel in der Gasuhr ein bestimmtes Niveau erreichen. Steht der Flüssigkeitsspiegel höher, so zeigt der Gasmesser einen zu großen, steht er tiefer, so zeigt derselbe einen zu kleinen Gasverbrauch an. Da aber das Wasser im Gas-

messer allmählich verdunstet, muß von Zeit zu Zeit frisches nachgefüllt werden. Um das Einfrieren zu vermeiden, wendet man statt des Wassers Glyzerinfüllung an.

Nach den Versuchen von Schirmer, Richter & Co. entspricht ein Sinken des Flüssigkeitsniveaus um 10 *mm* unter den Normalstand einem Ablesefehler von

8%	bei Gasmessern	für	3	Flammen,
6%*)	„	„	5	„
7%	„	„	10	„
4·5%	„	„	20	„





Fig. 156. **(Nach Muspratt.)** **Fig. 157.**

Nach Versuchen von Elster beträgt ein Sinken des Flüssigkeitsstandes um 10 *mm* unter normal:

bei	3flammigen	Gasmessern	einen	Ablesefehler	von	8%
„	5	„	„	„	„	7·5%
„	10	„	„	„	„	6·5%
„	20	„	„	„	„	4·5%
„	30	„	„	„	„	3·66%
„	50	„	„	„	„	3·5%
„	60	„	„	„	„	3%
„	80	„	„	„	„	3%.

Die trockenen Gasmesser, die im Prinzipe aus zwei doppelwirkenden Blasbälgen bestehen, deren Hübe gezählt werden,

*) Das Minimum bei 5flammigen Gasmessern rührt daher, daß bei diesen das Verhältnis Trommeldurchmesser : Trommellänge kleiner ist, als beim 10flammigen.

Dimensionen der Gasmesser von Pintsch:

Flammenzahl	Gehäuse: Äußerer Durchmesser mm	Gehäuse: Tiefe mm	Gehäuse: Ganze Höhe inkl. Fuß mm	Durchmesser des Ein- und Ausganges mm	Im Aichgesetze vorgeschrieben: Meßinhalt bei einer Trommelumdrehung J = 1	Im Aichgesetze vorgeschrieben: Größtes Durchgangsvolumen pro 1 Stunde V = m^3	Füllung in Litern	Gewicht des Gasmessers in kg
3	265	230	302	13	3·57	0·50	6	5·75
5	350	250	395	16	7·14	0·80	12	8
10	410	330	465	23	14·28	1·50	22·5	13
20	485	415	560	30	28·57	2·80	38	19·5
30	550	460	628	33	41·67	4·00	54	25·5
50	616	510	700	40	55·56	5·50	85	35
60	660	630	730	42	83·3	8·00	120	44·5
80	712	695	825	50	111·1	11·00	157	59
100	785	750	885	50	142·9	14·00	195	73·5
150	865	860	975	60	210·5	20·00	295	100

bieten gegenüber den nassen manche Vorteile (Einfrieren vermieden, kein Nachfüllen nötig, schiefe Stellung ohne Einfluß); ihre Konstruktion ist jedoch eine sehr schwierige, so daß sie am europäischen Kontinente nur sehr selten zur Anwendung kommen. Eine ausführliche Beschreibung verschiedener Arten derselben gibt Homann im Journal für Gasbeleuchtung, 1893, p. 645 ff.

Übungsthemen.

Projekte für Gasanlagen bei bestimmtem Gaskonsum, u. zw. Generalprojekt und Details, wie Ofen, Reiniger, etc.

X. Kapitel.

Sonstige Arten von Leuchtgas.

Außer aus Steinkohlen wird Leuchtgas auch noch aus Holz, Torf, Braunkohle, aus Ölen, Fetten, Harzen, aus Seifenwasser und Wollabfällen hergestellt. Die meisten dieser Darstellungsarten haben nur lokale Bedeutung und können daher im folgenden in aller Kürze behandelt werden. Nur das Ölgas bedarf einer ausführlicheren Besprechung, da es für kleinere Anlagen häufige Anwendung findet.

a) Holzgas.

Die trockene Destillation des Holzes gibt neben viel Teer nur ein wenig leuchtendes Gas (CH_4, CO_2, CO neben wenig schweren Kohlenwasserstoffen). Kommen jedoch die Teerdämpfe mit einer glühenden Oberfläche in Berührung, so zersetzen sie sich und geben schwere Kohlenwasserstoffe, so daß ein gut leuchtendes Gas erhalten wird. Man muß daher bei höherer Temperatur vergasen als zur Verkohlung nötig wäre.

Die Holzart hat nur geringen Einfluß auf Gasausbeute und Leuchtkraft. So geben nach Pettenkofer 100 *kg* Holz:

von Weiden	37·4 m^3	Gas
„ Tannen	35·8 m^3	„
„ Linden	35·7 m^3	„
„ Birken	35·1 m^3	„
„ Eichen	34·0 m^3	„
„ Buchen	33·4 m^3	„
„ Fichten	32·5 m^3	„
„ Lärchen	31·2 m^3	„

Hingegen ist es nötig, zur Leuchtgasfabrikation trockenes Holz zu verwenden, dessen Wassergehalt nicht über 8—10% steigen soll:

100 *kg* Holz geben:

	bei 100° C getrocknetes Holz	Holz mit 8% Feuchtigkeit
Gasmenge, gereinigt	32·8 m^3	31·3 m^3
CO_2 im ungereinigten Gas	15·9 Vol. %	22·1 Vol. %
Dauer der Destillation	60 Minuten	75 Minuten
Die Destillation war nahezu beendigt nach	35 „	50 „

Sehr zweckmäßig ist es, das Holz vorher 24 Stunden in Kammern zu darren, wozu man die Abhitze der Destillieröfen verwendet.

Zur Destillation verwendet man gewöhnliche Gasretorten, die aber nur zu $^1/_3$ gefüllt werden; doch zieht man — wegen ihrer größeren Wärmeleitungsfähigkeit — eiserne Retorten vor. Man destilliert bei Kirschrotglut (700—840° C); die Destillation dauert $1^1/_4$—2 Stunden.

Die von den Retorten abgehenden Rohre sowie die Vorlage müssen wegen der rascheren Gasentwicklung weiter dimensioniert werden als bei Steinkohlengas. Da das Gas aus der Vorlage noch ziemlich warm (40—80°) abströmt, schließen sich an diese noch Kondensatoren, Wascher und Scrubber, bevor es in die Kalk-Trockenreiniger gelangt. In letzteren werden zur Entfernung der Kohlensäure pro 100 m^3 Gas in 24 Stunden 100 bis

130 *kg* Kalk verbraucht. In der Reinigungsmasse wird auch noch Essigsäure und Kreosot zurückgehalten.

100 *kg* Holz geben etwa:

Gas	34—40 m^3
Holzkohle	25—30 *kg*
Teer	4— 5 *kg*
dünnen Holzessig	40—45 *kg*

Zusammensetzung des Holzgases:

Volumprozent	Schwere Kohlenwasserstoffe	CH_4	H_2	CO_2	CO	Leichte Kohlenwasserstoffe	N_2
Ungereinigtes Gas	—	—	—	54·5	33·8	6·6	—
Gereinigtes Gas aus vorigem	—	—	—	18—25	40—50	8—12	—
Ungereinigtes Gas aus möglichst harzfreiem Fichtenholz (Pettenkofer) . .	6·91	11·06	15·07	25·72	40·59	—	—
Gereinigtes Gas aus der Bayreuther Fabrik .	7·70	—	18·43	2·21	61·79	9·45	0·42
Gas aus Aspenholz (Reissig)	7·24	—	31·84	—	25·62	35·30	—
„ „ Lindenholz	7·86	—	48·76	—	22·30	21·17	—
„ „ Lärchenholz . . .	9·00	—	29·76	—	40·28	20·96	—
„ „ Weidenholz	7·34	—	29·60	—	39·04	24·02	—
Mittelwerte aus 14 Analysen (Knapp)	10·6—6·5	—	48·7—18·4	—	61·8—21·3	35·3—9 4	—

Neben den schweren Kohlenwasserstoffen (Acetylen, Äthylen, Propylen, Benzol, Toluol, Cumol, Xylol, Naphtalin) enthält das Gas noch geringe Mengen von CO_2, Essigsäure, Kreosot, Aceton, Aldehyd und Methylalkohol. Die Leuchtkraft des Holzgases ist um etwa 20% größer als die des Steinkohlengases (Liebig und Steinheil). Sein spezifisches Gewicht (mindestens 0·70) ist größer als das des Steinkohlengases; es enthält weder Schwefelwasserstoff noch Schwefelkohlenstoff oder Ammoniak.

b) Torfgas.

Torfgas kommt sehr selten zur Darstellung. Reissig erhielt in der Münchner Holzgasanstalt aus 100 *kg* Münchner Specktorf in 90 Minuten 24·7 m^3 Gas. Das gereinigte Gas enthielt:

	I	II
Schwere Kohlenwasserstoffe	9·52 Vol. %	13·16 Vol. %
Leichte „	42·65 „ %	33·00 „ %
Wasserstoff	27·50 „ %	35·18 „ %
Kohlenoxyd	20·33 „ %	18·34 „ %
Kohlensäure und Schwefelwasserstoff .	Spur	—
Stickstoff	—	0·32 „ %

c) Braunkohlengas.

Nach den wenigen vorliegenden Versuchen geben die Braunkohlen ein stark leuchtendes Gas, aber die abfallende Koke hat keine Verwendung.

Nach Tasche gaben jedoch 100 *kg* Braunkohle aus Salzhausen in Hessen 17·6 m^3 Gas und 32—36·4 *kg* Koke, die zum Schmieden und Heizen verwendbar war.

Böhmische Braunkohlen finden, wie früher erwähnt, als Zusatzkohlen bei der Steinkohlengaserzeugung Verwendung.

d) Ölgas.

Zur Darstellung des Olgases dienen Rohpetroleum, Petroleumrückstände, Schieferöle, Paraffinöle, in seltenen Fällen auch vegetabilische und animalische Öle, die zwar ein sehr gutes Gas geben, wegen ihres hohen Preises aber nur hin und wieder Anwendung finden können.*)

Vergasungsergebnisse nach Küchler:

Art des Öles	Spezifisches Gewicht des Öles	100 *kg* geben m^3 Gas	Leuchtkraft bei 28·3 *l* Gasverbrauch, Kerzen
Amerikanisches Petroleum, raffiniert . .	0·780—0·782	79—85	12·2
„ „ roh	0·80—0·90	über 62	11·5—11·8
„ „ Rückstände .	über 0·90	etwa 57	etwa 11
Thüring. Paraffinölrückstände, rotbraun .	0·88—0·89	54—57	11—12
„ „ hellrotbraun	0·865—0·875	54—55·5	10·5—11·5
„ „ Kreosot . .	über 0·90	34—35	9—9·5
Paraffinölrückstände aus Schottland . .	„ 0·90	etwa 57	etwa 11
Schieferöl (Reuttlingen)	„ 0·90	„ 57	11—11·5
Rohpetroleum aus San Giovanni	„ 0·96	„ 45	etwa 10
Galizisches Rohpetroleum	—	„ 57	11—11·5

Vergasungsergebnisse von Lewes.

Art des Öles	Spezifisches Gewicht	Entflammungspunkt °C	Gasausbeute aus 100 *l* Öl m^3	Leuchtkraft, engl. Kerzen pro 142 *l* Gas
Rohes schottisches Schieferöl . . .	0·850	33	57·5	50
„ grünes „ . . .	0·884	73	64	53
Doppelt destilliertes „ . . .	0·802	19·5	66	70
Gewöhnliches amerikanisches Petroleum-Paraffinöl	0·799	29	53	66
Rohes russisches Petroleum	—	—	56	61
Destilliertes russisches Petroleum .	0·864	57	52	56

*) Der Verfasser benützte neben Petroleumrückständen Rüböl, das als Schmieröl gebraucht worden war, mit sehr gutem Erfolge.

A. Resultate der Vergasung von Ölen bei verschiedener Temperatur:
(pro Stunde wurde 1 Gallone = $4^1/_2$ *l* Öl vergast)

Versuchsnummer	Russisches Öl							Schottisches Schieferöl			
	A. Lüsteröl				B. Solar-Destillat			C. Von den Eisenbahnen geliefert		D. Direkt bezogen	
	I	II	III	IV ***)	I	II	III	I	II	I	II
Temperatur in der Retorte am Anfange	679	752	838	880	799	760	909	801	906	774	871
" " " " " Ende	593	781	871	854	699	810	933	854	868	799	904
Mittlere Retortentemperatur	636 *)	766	854	867	749	785	921	827	887	786	888
Gasausbeute in m^3 aus 100 *l* Öl auf 15° C reduziert	27·6	46·4	63·0	72·9	36·1	51·6	74·9	51·3	58·9	41·4	51 7
Leuchtkraft in Ver.-Kerzen pro 150 *l*	30·8	49·6**)	35·7	25·0	58·0	48·2	22·0	41·2	34·3	62·9	46·3
Stundenkerzen aus 1 *l* Öl	57	153	150	121	106	166	117	141	135	174	160
Spezifisches Gewicht des Gases, Luft = 1	—	0·667	0·526	0·442	0·909	0·735	0·447	0·664	0·584	0·931	0·671
Volumprozentische Zusammensetzung d. Gases: Schwere Kohlenwasserstoffe	11·4	28·3	17·3	11·6	42·3	28·4	8·3	26·9	19·4	45·6	27·3
Methan	23·6	41·6	—	43·2	—	37·5	—	51·3	—	35·9	—
Wasserstoff	57·3	22·6	—	37·7	—	20·7	—	16·8	—	8·5	—
Kohlenoxyd	2·7	1·0	2·4	0·7	—	3·5	—	0·8	—	2·1	—
Kohlensäure	0·2	0·6	0·5	1·7	0·5	0·2	0·2	0·6	—	0·2	0·5
Sauerstoff	0·3	0·6	0·4	0·5	—	0·4	—	0·3	—	0·1	—
Stickstoff	4·5	5·3	—	4·6	—	9·2	—	3·3	—	7·6	—
Schwefelwasserstoff (*g* pro 1 m^3)	fehlt	—	<0·014	—	fehlt	fehlt	Spur	fehlt	<0·014	fehlt	fehlt
Gesamtschwefel (*g* pro 1 m^3)	0·069	—	0·24	—	—	0·205	—	0·046	0·071	0·085	0·041
Rückstand in der Retorte in %	11·3	11·3	20·0	27·2	2·5	5·6	31·8	0·7	0·6	4·4	4·4
Teer in %	56·8	18·8	10·0	0·4	37·1	46·5	0·4	24·6	7·2	31·1	12·0
Spezifisches Gewicht des Teeres	0·837	0·936	0·933	0·948	0·981	0·984	—	1·038	1·033	0·938	1·016
Gesamtrückstände in %	68·1	30·1	30·0	27·6	38·9	52·1	32·2	25·3	7·8	35·5	16·4

Bemerkungen: Die beiden russischen Öle verstopften die Retorte nach einigen Stunden durch Kohlenabsatz (besonders das Solar-Destillat); dieses letztere kann über 927° C nicht mehr verarbeitet werden. Die schottischen Öle hinterlassen nur sehr wenig Rückstand und verarbeiten sich ohne Schwierigkeit.

*) Die Temperatur war zu nieder; ein Teil des Öles blieb in der Retorte und verbrannte beim Öffnen.
**) Hielt sich drei Wochen lang in einem Experimentierbehälter über Wasser unverändert.
***) Bei diesem Versuche wurde das Öl über glühende Koke geleitet.

Bei der Ölgasfabrikation muß die Destillationstemperatur bei dunkler Rotglut (800—900° C) gehalten werden. Bei zu tiefer Temperatur destilliert das Öl zum kleineren oder größeren Teile unzersetzt, kondensiert sich dann in den Reinigern und der Gasglocke und man erhält wenig und zu schwach leuchtendes Gas. Bei zu hoher Temperatur hingegen geht die Zersetzung weiter, es scheidet sich Ruß ab, der die Steigröhren verstopft, und man erhält zwar eine große Gasausbeute, aber schlecht leuchtendes Gas. Man erkennt die richtige Vergasungstemperatur, wenn man dasselbe durch einen Probierhahn ausströmen läßt. Bei zu niederer Temperatur ist die Farbe desselben weiß, bei zu hoher rotbraun bis schwärzlichbraun, bei richtiger Temperatur hat es etwa die Farbe von Thee mit Milch. Hält man gegen das ausströmende Gas ein Blatt Papier, so entsteht auf demselben ein Fettfleck, wenn die Destillationstemperatur zu niedrig ist. Entsprechend der Retortentemperatur muß der Ölzulauf geregelt werden.

Der Einfluß der Temperatur auf den Verlauf der Ölgasgewinnung ist sehr gut aus den folgenden Versuchen von Llewellyn Price zu erkennen (p. 217—219):

B. Eigenschaften und Preis der Öle.

Name:	A. Lüster	B. Solar-Destillat	C. Schieferöl	D. Schieferöl
Preis pro Gallone . .	3·2 d.	3·5 d. (in 10 Gallon-Blechflaschen)	5·3 d. (dazu Rückfracht der Fässer)	3·3 d. (und Fracht von Schottland)
„ „ 100 *l* . .	M. 5·87	M. 6·40	M. 9·73	M. 6·06
„ „ 100 *kg* . .	M. 6·11	M. 7·40	M. 11·45	M. 7·09
Spezifisches Gewicht .	0·826	0·8656	0·8495	0·854
Farbe	wasserhell, blaue Fluoreszenz	rotbraun, grüne Fluoreszenz	dto.	dto.
Fraktionierte Destillation (Thermometer im Dampf) — Erster Tropfen bei	115° C	110° C	225° C	230° C
....	85% bei 270°C	65% bei 345°C	55% bei 350°C	40% bei 350°C
Beste Ausbeute . .	46·4 m^3 49·6 Kerzen	51·6 m^3 48·2 Kerzen	51·3 m^3 41·2 Kerzen	41·4 m^3 62·9 Kerzen
Stundenkerzen aus 1 *l*	153	166	141	174
100 m^3 16Kerzen-Gas, um eine Kerze aufzubessern, kostet an Öl allein	25·6 Pf.	25·6 Pf.	46·0 Pf.	23·2 Pf.

C. Verhältnis zwischen dem Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen und der Leuchtkraft des Ölgases.

Öl:	Mittlere Vergasungstemperatur °C	Leuchtkraft pro 150 *l* Deutsche Ver.-Kerzen	Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen Vol. %	Kerzen auf 1 Vol. % schwere Kohlenwasserstoffe
A. Lüsteröl	636	30·8	11·4	2·70
	766	{ 49·6 60·6*) }	28·3	{ 1·75 2·14 }
	854	35·7	17·3	2·06
	867	25·0	11·6	2·16
B. Solar-Destillat . .	749	41·0	42·3	1·37
	785	48·2	28·4	1·70
	921	22·0	8·3	2·65
C. Schieferöl	827	58·2	26·9	1·53
	887	34·3	19·4	1·77
D. Schieferöl	786	62·9	45·6	1·34
Zum Vergleich gewöhnliches 16Kerzen-Steinkohlengas . .	—	16	4	4

Weitere Angaben über die Zusammensetzung des Ölgases aus verschiedenen Rohmaterialien enthält die folgende Tabelle:

Bezeichnung des vergasten Öles:	Schieferöl, Reuttlingen	Paraffinöl	Petroleum		Amerikanisch. Steinöl
Analytiker:	Reissig	Hilger	Bolley		Silberschmid
Schwere Kohlenwasserstoffe Vol. %	25·30	28·91	31·6	33·4	27·18
Methan „ %	64·80	54·92	45·7	40·0	41·61
Wasserstoff „ %	3·05	5·65	32·7	26·0	13·26
Kohlenoxyd „ %	6·65	8·94	—	—	17·47
Kohlensäure „ %	0·20	0·82	—	—	—
Sauerstoff und Stickstoff „ %	Spuren	—	—	—	0·52

Das spezifische Gewicht des Ölgases ist bedeutend größer als das des Steinkohlengases (0·6 bis 0·9); ebenso seine Leuchtkraft. Die größte Explosionsfähigkeit hat ein Gemenge von 1 Vol. Gas mit 14 Vol. Luft; bei einem Volumsverhältnisse 1 : 6 ist das Gemenge nicht mehr explosiv.

Zur Vergasung des Öles werden Retorten aus Gußeisen oder — noch besser, weil haltbarer, wenn auch teuerer — aus Stahlguß

*) Steinkohlengas mit einem geringen Prozentsatze Ölgas gemischt, und der Leuchtkraftzuwachs auf die Ölgasmenge berechnet.

verwendet. Für kleine Anlagen werden oft (vertikal) stehende Retorten angewendet (Fig. 158), die man am Boden bedeutend stärker macht als in den Seitenwänden, um diesen Teil der Retorte, der einer Stichflamme ausgesetzt ist, genügend dauerhaft zu erhalten.

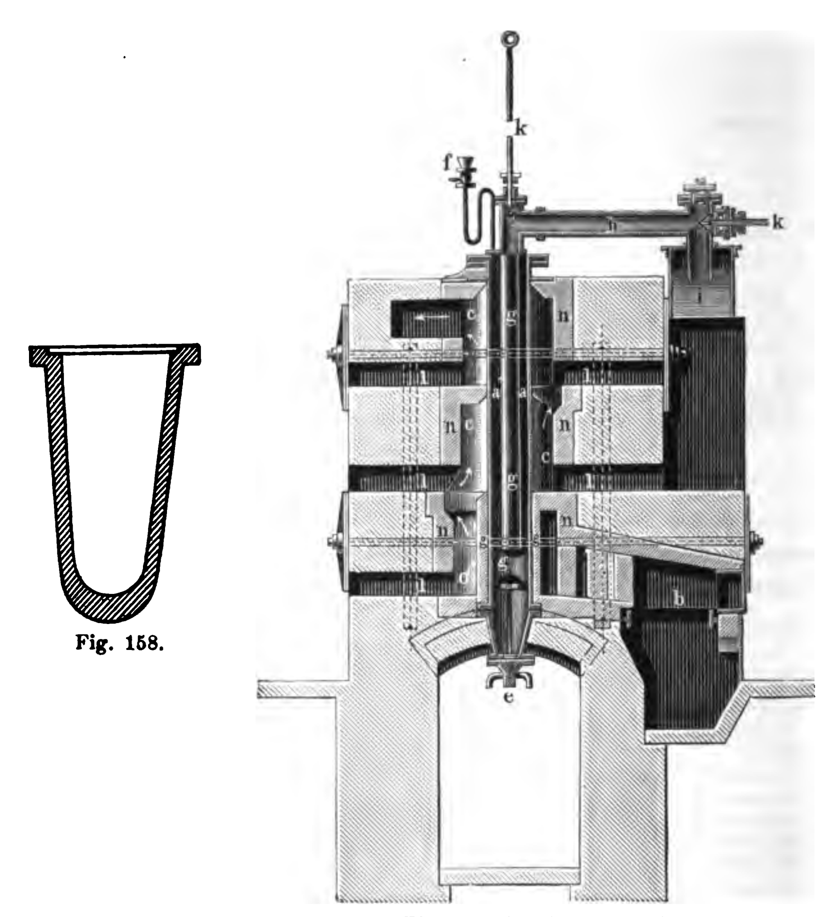


Fig. 158.

Fig. 159. (Nach Muspratt.)

Besser sind die stehenden Retorten von Küchler oder von Hübner (Fig. 159). Bei letzteren wird die 2·2 bis 2·5 *m* lange Retorte a mittels der Feuerung b und der Feuerzüge c geheizt. Unten ist die Retorte durch einen abnehmbaren Verschluß e abgeschlossen. Am oberen Ende der Retorte sitzt der Retortenkopf, von dem das ziemlich weite Rohr g ins Innere der Retorte beträchtlich weit hinein reicht; es ist zur Ableitung der entwickelten Gase bestimmt.

Das zur Destillation verwendete Öl befindet sich in einem Kübel ober dem Ofen und wird hiedurch so weit angewärmt, daß es dünnflüssig ist. Durch einen Hahn am Boden dieses Kübels rinnt das Öl in den Trichter f und gelangt von hier durch einen Siphon in dünnem Strahle in die Retorte, wo es auf die unter dem Rohre g befindliche Platte auftropft. Das entwickelte Gas gelangt durch g und h in die Vorlage i (die bei kleinen Anlagen oft ganz fehlt).

Die horizontalen Retorten sind oft ähnlich wie die gewöhnlichen Gasretorten gestaltete horizontale Rohre, die meist an

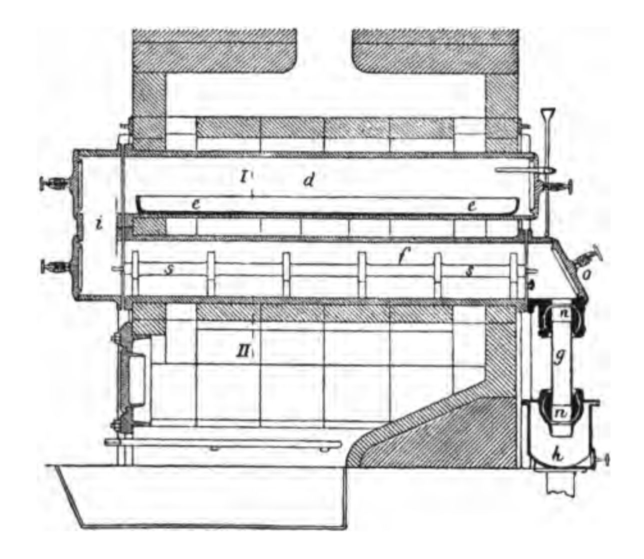


Fig. 160.

beiden Seiten mit einem Deckel verschlossen sind. Oft verwendet man, wie bei der sehr verbreiteten Konstruktion von J. Pintsch, zwei horizontale Retorten übereinander (Fig. 160). Das Öl fließt (wie bei allen Ölgasapparaten) wieder durch einen Trichter mit Siphonrohr zu und gelangt in die Blechschale e, die in der oberen Retorte liegt. Die Öldämpfe treten durch i in die untere Retorte f, in der sich, zur Beförderung der vollständigen Vergasung, ein Einsatzstück b aus Ton oder Eisen befindet. Das Gas gelangt schließlich durch das (hier mit Kugelgelenken n versehene) Tauchrohr g in die Vorlage k.

Statt zweier übereinander liegender horizontaler Retorten kann man auch einfache liegende Retorten benützen, die durch eine horizontale Zwischenwand in zwei Abteilungen geteilt sind.

Das geschieht beispielsweise bei den Ölgasanlagen, wie sie Drescher in Chemnitz baut (Fig. 161, 162).

Manchmal verwendet man auch kombinierte liegende und stehende Retorten, wie bei der von der Österr. Beleuchtungs-

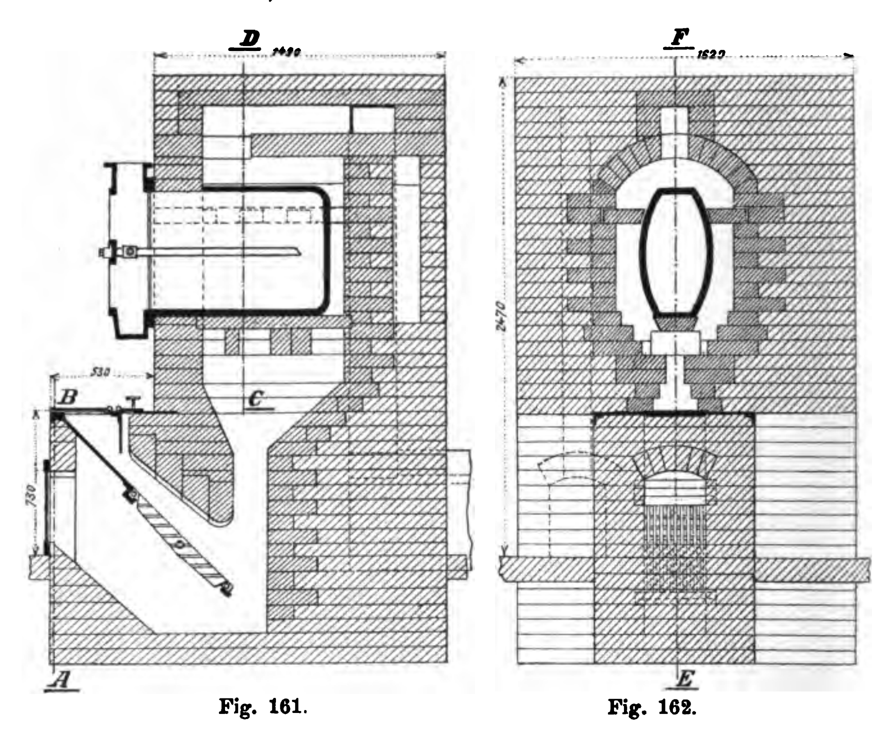


Fig. 161. Fig. 162.

Aktiengesellschaft in Wien errichteten Ölgasanlage in der Strafanstalt Carlau bei Graz (Fig. 163—166). Eine von derselben Gesellschaft errichtete kleine vollständige Anlage einschließlich der Scrubber und Reiniger geben die Fig. 167—170, während die Fig. 171—182 solche Anlagen von R. Drescher in Chemnitz (jetzt Albert Wagner) für je 100, 300 und 500 Flammen darstellen.

Man legt 1—2 Retorten in einen Ofen, doch soll stets mindestens 1 Ofen in Reserve vorhanden sein. Liegenden Retorten gibt man in der dem Öleinlaufe entgegengesetzten Richtung ein Gefälle von 20 *mm* pro Meter. Das Anheizen der Retorten erfordert 2—3 Stunden.

Die Steigrohre macht man unten 125, oben 100 *mm* weit, während die Tauchrohre 100 *mm* Diameter erhalten. Der Horizontalquerschnitt der Vorlage, die nicht zu warm werden darf, soll min-

destens 10mal so groß sein als der Querschnitt aller in sie mündenden Tauchrohre. Da das Ölgas Dämpfe enthält, die bei + 20° C noch nicht vollständig kondensiert sind, muß dasselbe sehr sorgfältig gekühlt werden, doch sind Luftkühler erst bei einer

Fig. 163. Fig. 164.

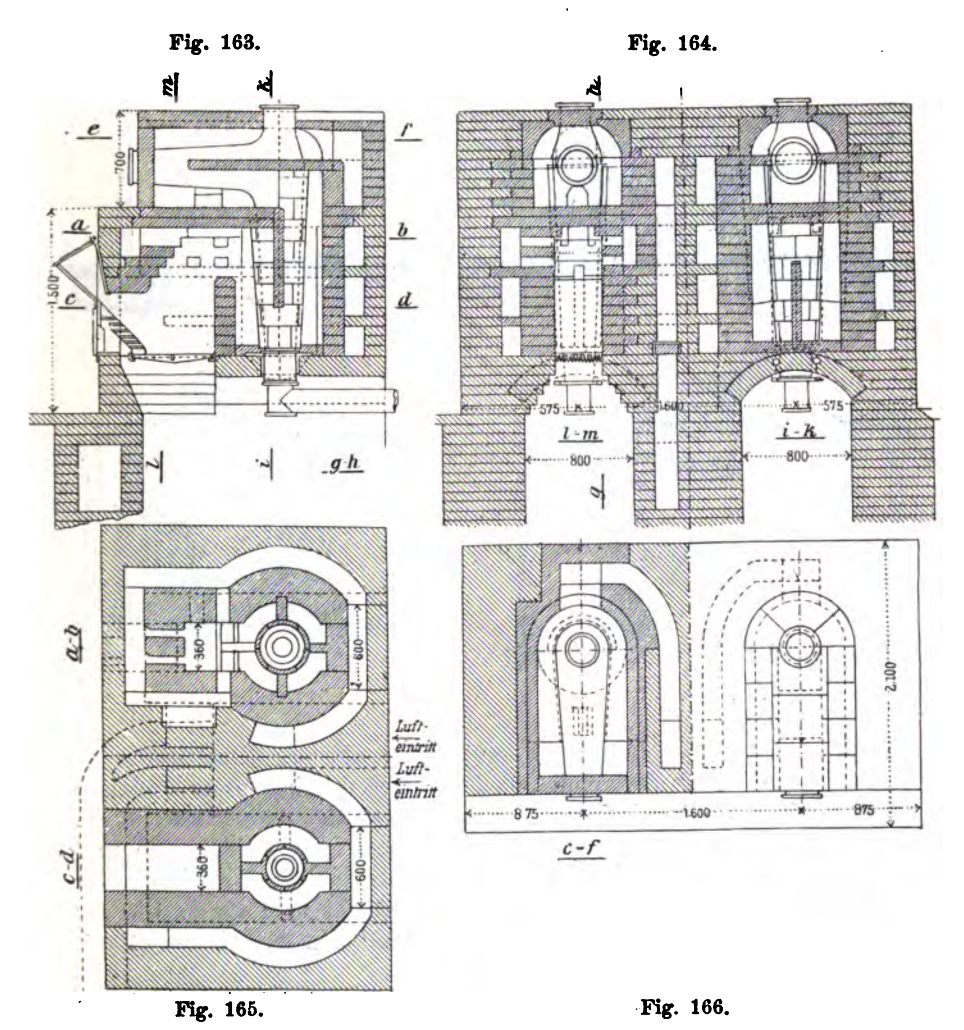


Fig. 165. Fig. 166.

6—7 m^3 pro Stunde übersteigenden Produktion nötig. Pro 100 m^3 Tagesproduktion sollen 3—4 m^2 Kühlfläche vorhanden sein.

Zur weiteren Reinigung dienen mit Koke gefüllte oder mit durchlochten Blechwänden im Innern versehene Wäscher mit Wasserberieselung, in welchen das Gas 8—10 Minuten verweilen

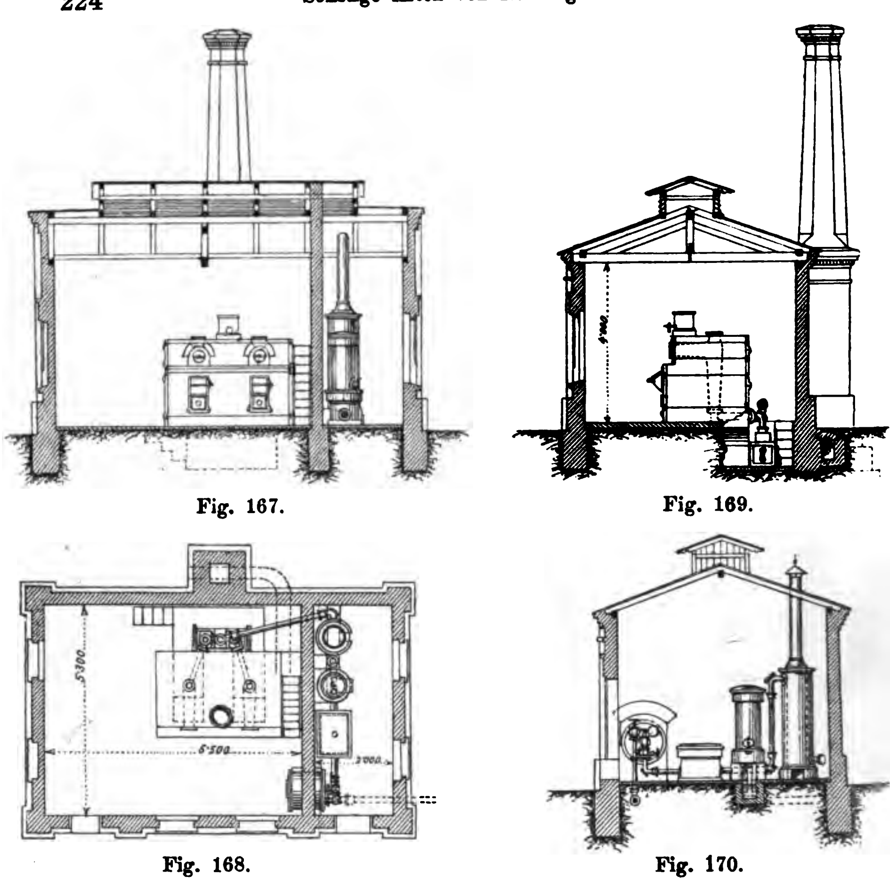


Fig. 167. Fig. 169.

Fig. 168. Fig. 170.

soll. Statt dieses Apparates wird sehr oft der Kondensator so mit einem Wäscher vereinigt, daß das Gas durch Wasser streichen muß (siehe die Abbildungen); Langen benützt Düsenwäscher.

Hieran reiht sich noch zur Entfernung von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff ein Trockenreiniger mit Laming'scher oder Lux'scher Masse. In demselben braucht man für je 100 m^3 in zwölf Stunden erzeugtes Gas 0·02 m^3 Masse, die auf 2—3 Hordenlagen verteilt wird.

Der Produktions-Gasmesser, der selbst bei kleinen Anlagen von Vorteil ist, soll so bemessen werden, daß er pro Stunde 100 Umdrehungen macht. Der Gasbehälter soll mindestens so groß sein, daß er den täglichen Maximalkonsum abzüglich der während der Beleuchtungszeit erzeugten Gasmenge faßt. In vielen Fällen ist es jedoch zweckmäßig, denselben so groß zu wählen, daß nicht jeden Tag Gas erzeugt werden muß.

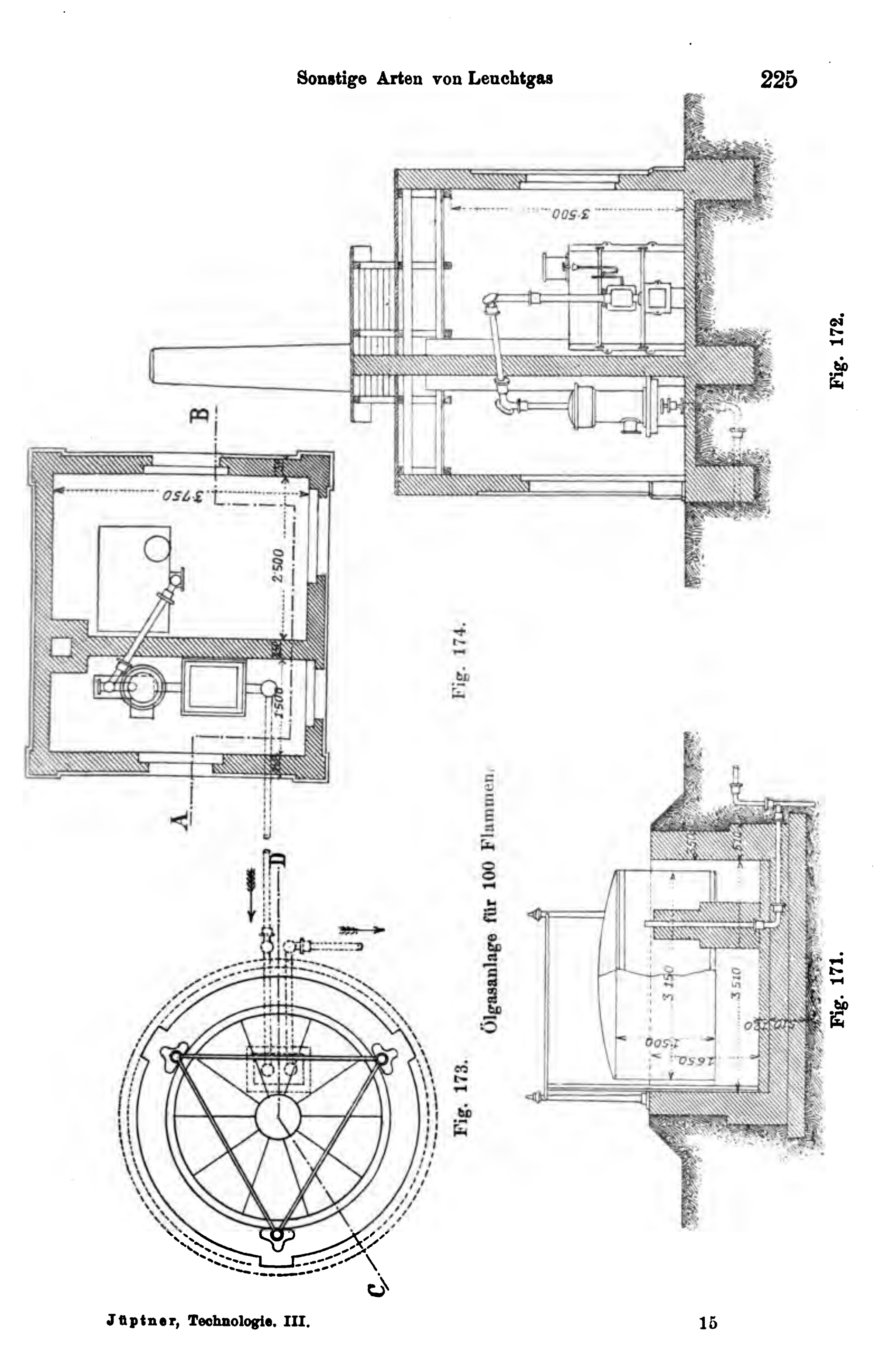


Fig. 172.

Fig. 174.

Ölgasanlage für 100 Flammen.

Fig. 173.

Fig. 171.

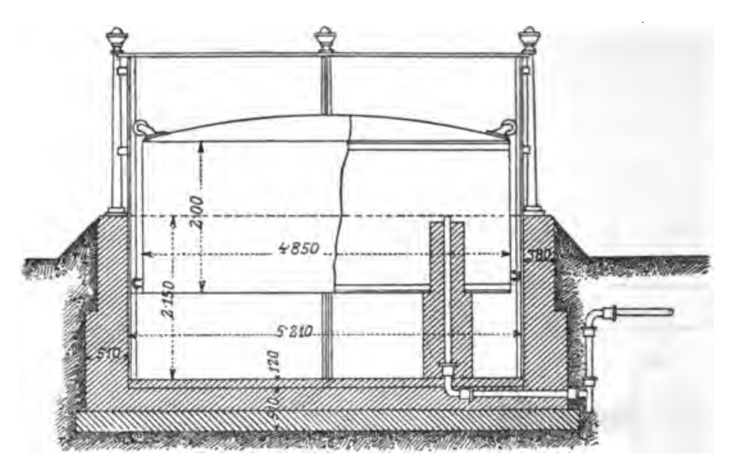


Fig. 175.

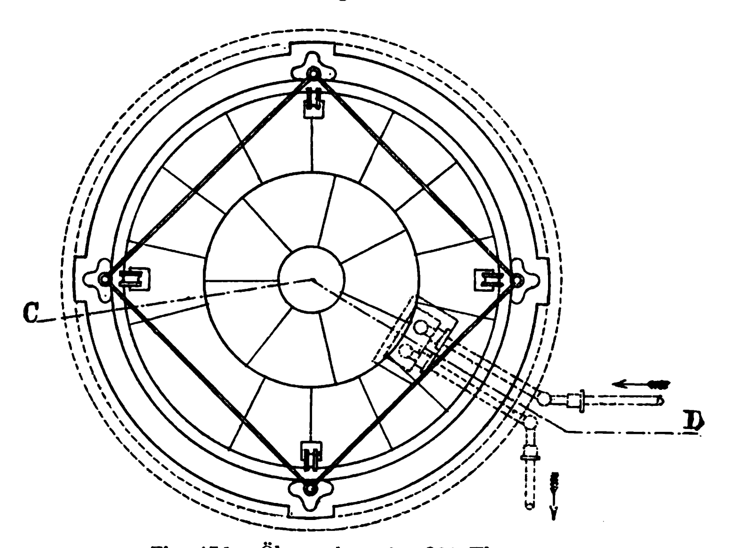


Fig. 176. Ölgasanlage für 300 Flammen.

Da das Ölgas unter geringerem Drucke zur Verbrennung gelangen soll, als das Steinkohlengas, ist entweder ein Druckregulator einzuschalten, oder es muß die Gasbehälterglocke durch Gegengewichte so weit ausbalanciert werden, daß ihr Druck 20—30 *mm* Wassersäule beträgt. Der Druck in der Vorlage soll nicht über 120 *mm* steigen.

In den Leitungen soll sich das Ölgas mit einer Geschwindigkeit von 0·7 bis 1 *m* pro Sekunde bewegen; einem Gefälle von 1 *m* entspricht eine Druckabnahme um 1 *mm*.

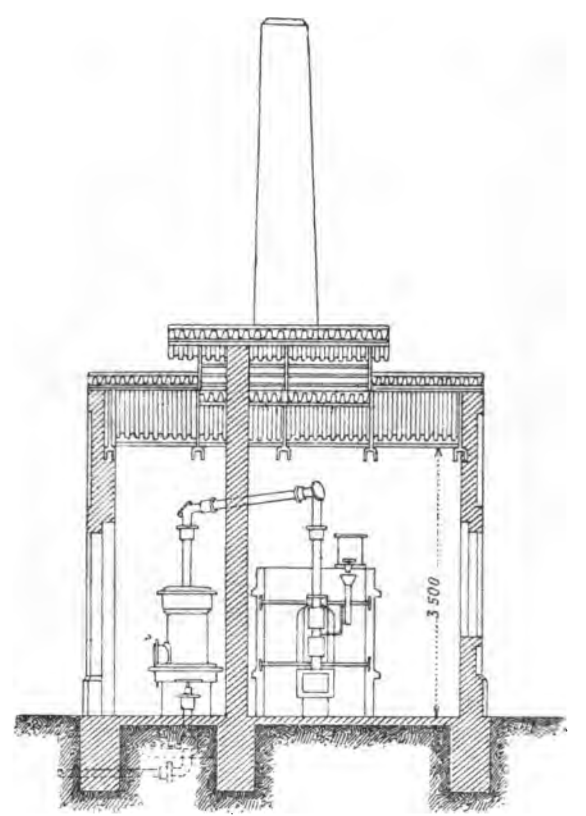


Fig. 177.

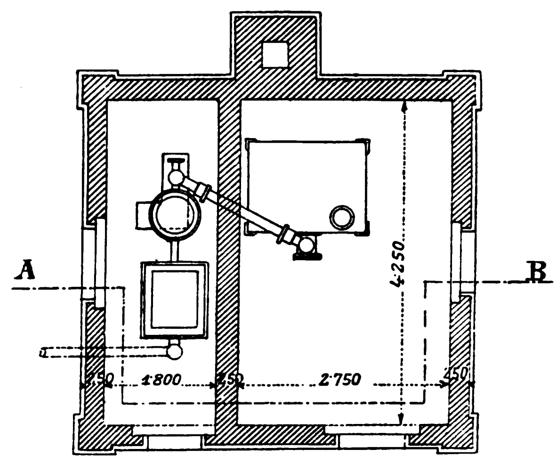


Fig. 178.

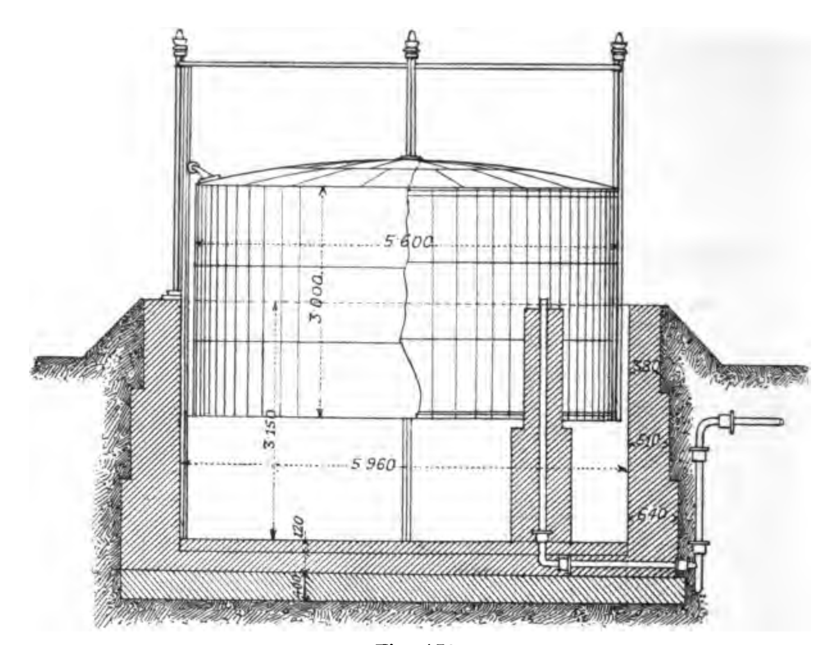


Fig. 179.

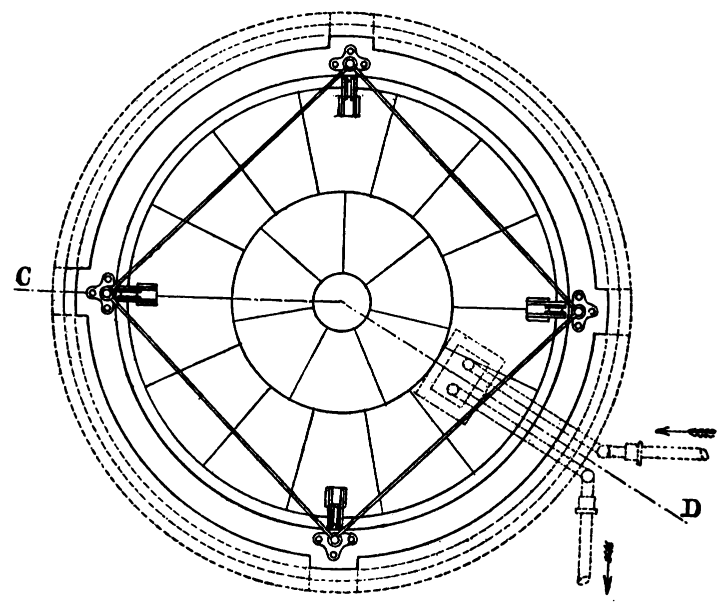


Fig. 180.

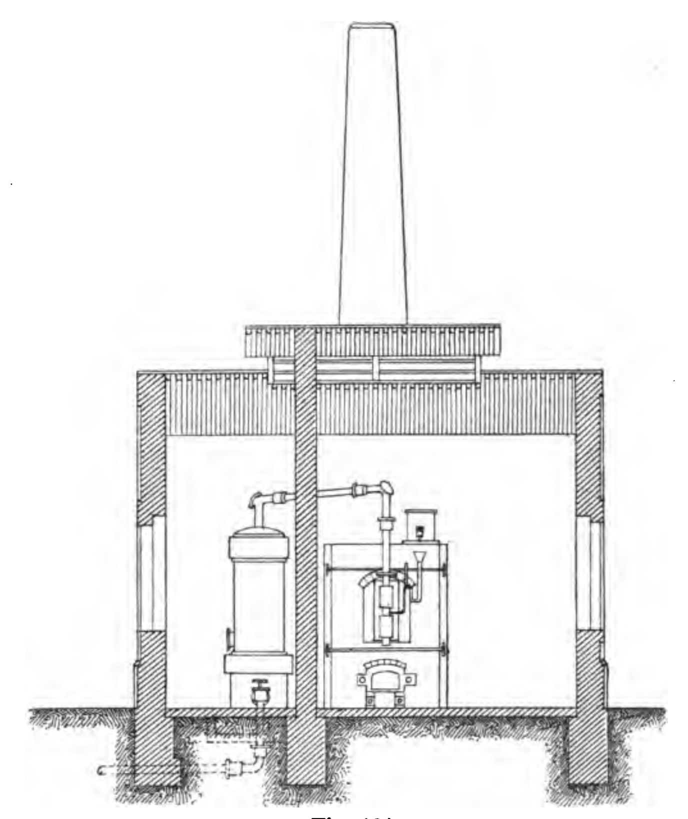


Fig. 181.

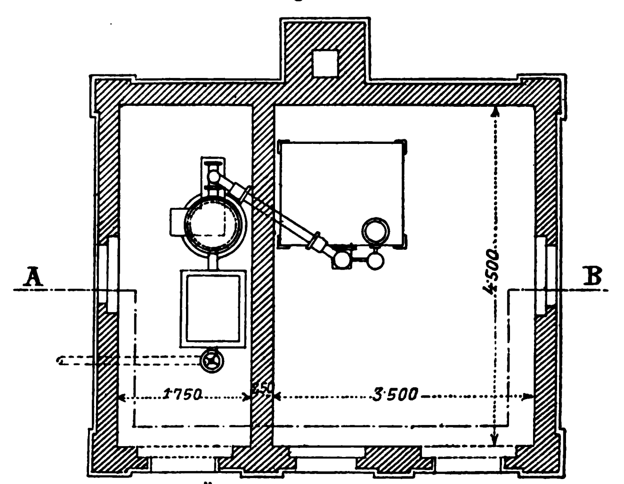


Fig. 182. Ölgasanlage für 500 Flammen.

Da das Ölgas einen hohen Kohlenstoffgehalt besitzt und daher leicht rußt, dürfen für dasselbe nur enge Brenner zur Anwendung kommen. Als Normalbrenner wird ein 1 cbf. Schnittbrenner angesehen, doch sind Zweilochbrenner vorzuziehen, da sich etwaige Verstopfungen leicht selbst ausblasen. Für Straßenbeleuchtung verwendet man $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ cbf. Schnittbrenner, für Wohnräume aber zweckmäßig Argandbrenner mit einem stündlichen Konsum von etwa 60 *l*. Da Ölgasflammen bei Zug leicht rußen, gibt man denselben an zugigen Orten Glasschalen oder Glocken.

Infolge der größeren Leuchtkraft und des geringeren Gaskonsums werden die Gasmesser nur $^1/_4$ so groß gewählt als für Steinkohlengas.

Das Ölgas findet auch zur Beleuchtung von Eisenbahnwagen Anwendung (System von J. Pintsch in Berlin und von L. A. Riedinger in Augsburg). Das sorgfältig gereinigte Gas wird dem Gasbehälter entnommen und durch Kompressionspumpen unter einem Drucke von 10 at. in den Hauptsammelrezipienten gepumpt. Ein 16 *mm* weites Bleirohr führt von diesem zu den Füllständern und von hier weiter zu den Rezipienten, die unter den Wagen angebracht sind. In diesen befindet sich der für 33—40 Brennstunden erforderliche Gasvorrat unter einem Drucke von 6 at. Ein 5 *mm* weites Eisenrohr führt von hier zum Regulator, von wo das Gas unter dem zum Brennen erforderlichen geringen Drucke zu den Brennern strömt.

Es sind dies Zweiloch-Specksteinbrenner mit sieben Kerzen Leuchtkraft und einem Gaskonsum von 22 *l* pro Stunde. In ähnlicher Weise wird auch von Pintsch die Beleuchtung von Passagierdampfern eingerichtet.

Auch zum Betriebe von Gasmotoren ist das Ölgas gut geeignet. Dieselben brauchen pro Stunde und Pferdekraft 0·30 bis 0·35 m^3 Ölgas.

e) Leuchtgas aus Harz.

Die Gaserzeugung erfolgt ganz ähnlich wie bei Ölgas, nur muß das verwendete Harz, um leicht und gleichmäßig in die Retorten zu fließen, vorerst flüssig gemacht werden. Zu diesem Zwecke wird das Harz in ein Gefäß gebracht, das durch die abziehenden Ofengase geheizt wird.

f) Leuchtgas aus Seifenwasser (Suinter- oder Swinter-Gas).

Das Seifenwasser, welches beim Entfetten der Wolle oder beim Entschälen der Seide abfällt, kann mit Vorteil zur Leuchtgasfabrikation verwendet werden. Dasselbe enthält neben unverändertem Fett und organischen, aus der Wolle oder Seide stammenden

Stoffen Öl- und Stearinsäure an Kalk und Natron gebunden. Aus dem Seifenwasser werden die Fettsäuren entweder (durch anorganische Säuren) als solche, oder aber als Kalksalze abgeschieden und die so erhaltenen Produkte der trockenen Destillation unterworfen.

α) Destillation der abgeschiedenen Fettsäuren. In Rheims werden 300 Zentner Wollenseifenwasser mit 2% Schwefelsäure oder 4% Salzsäure und der gleichen Menge Wasser versetzt. Nach 12 bis 18stündigem Stehen werden die an der Oberfläche ausgeschiedenen Fettmassen in Kupferkesseln ausgeschmolzen und die Schmelze nochmals mit 2% Schwefelsäure behandelt. Das hiebei erhaltene klare Öl dient zur Seifenfabrikation, während der abfallende feste schwarze Rückstand zur Gasfabrikation benützt wird. Der hiebei gebildete Teer dient zur Auflösung dieses Rückstandes und die so erhaltene Lösung fließt in die Retorten.

β) Destillation der Kalkseifen. Das Seifenwasser wird entweder mit Kalkmilch 12 Stunden lang stehen gelassen, durch grobe Leinentücher geseiht, im Keller bis zur teigigen Konsistenz eintrocknen gelassen, in halbziegelgroßen Stücken ausgestochen, diese getrocknet und dann zur Destillation in Retorten gebracht; oder dasselbe wird mit gebranntem Kalk auf 70—72° C erwärmt, absitzen gelassen, die Kläre dekantiert, der Bodensatz aber filtriert, in fein verteiltem Zustande an der Luft getrocknet und schließlich in Retorten destilliert.

Nach ersterem Verfahren liefert das Waschwasser von 200000 Spindeln 500 *kg* Suinter, das pro *kg* 210 *l* Gas liefert. Nach dem zweiten Verfahren erfordert 1 *hl* Seifenwasser vom Entschälen der Seide $^3/_4$ bis $1^1/_2$ *kg* gebrannten Kalk und gibt 1200 bis 1600 *l* Gas. Schwamborn empfiehlt zur Erzeugung eines stärker leuchtenden Gases die gleichzeitige Verwendung von Kalkseife und Steinkohlen.

g) Leuchtgas aus Wollabfällen.

Liebau in Magdeburg hat Schafwollabfälle aus Spinnereien entweder allein oder mit Kohle gemischt zur Leuchtgasfabrikation verwendet. Letzteres ist vorteilhafter.

Übungsthemen.

Wie bei Kapitel V und IX.

XI. Kapitel.

Wassergasbeleuchtung.

Das Wassergas*) findet sowohl als Wärmequelle wie zur Beleuchtung immer ausgedehntere Anwendung, so daß eine etwas eingehendere Besprechung desselben gerechtfertigt erscheint. Über die Theorie seiner Darstellung wurde bereits im ersten Bande des Lehrbuches ausführlich gesprochen.

Der Prozeß, bei welchem die beiden Reaktionen**)

$$C + H_2O = CO + H_2$$

und

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$$

auftreten, erfolgt unter Wärmebindung. Bläst man durch glühende Kohlen Wasserdampf, so werden die anfangs hell glühenden Kohlen immer kälter, das Wassergas demzufolge immer ärmer an Kohlenoxyd und reicher an Kohlensäure und Wasserdampf — also schlechter — und schließlich sinkt die Temperatur der Kohlen so tief, daß der Prozeß gänzlich zum Stillstande kommt.

Will man also andauernd Wassergas darstellen, so muß man die zur Zersetzung des Wasserdampfes verbrauchte Wärme ersetzen, d. h. man muß dem Apparate auf irgend eine Weise Wärme zuführen. Dies kann auf folgende Weise geschehen:

1. Man kann den eingeblasenen Wasserdampf überhitzen. Die auf diese Weise dem Generator zugeführten Wärmemengen sind jedoch nicht hinreichend, um die Temperatur desselben konstant zu erhalten, so daß diese Methode in praxi nur nebenbei Anwendung findet.

2. Man kann neben dem Wasserdampfe auch Luft einblasen, so daß gleichzeitig mit dem Wassergas- auch der Generatorgasprozeß verläuft. Da letzterer bedeutende Wärmemengen liefert, kann man bei passender Regulierung der Luft- und Dampfzufuhr die Temperatur im Generator konstant erhalten und somit kontinuierlich arbeiten. Das so erhaltene Gas wird als Halbwassergas oder Dowsongas (bei den Hüttenleuten häufig als Mischgas) bezeichnet und enthält natürlich neben Kohlenoxyd und Wasserstoff als brennbare Bestandteile noch Kohlensäure, Wasser, und beträchtliche Mengen Stickstoff, wodurch sowohl der abso-

---

*) Technologie der Energien, I., 1., pag. 301.

**) und zwar bei höherer Temperatur vorwaltend die erste, bei niederer aber überwiegend die zweite Reaktion.

lute als der pyrometrische Heizeffekt erheblich herabgedrückt werden.

Für viele Zwecke der Industrie, namentlich wenn es sich um Feuerungen handelt, die nach dem Regenerativprinzipe konstruiert sind, ist solches Gas ausgezeichnet, um so mehr, als Einrichtung und Betrieb solcher Apparate ziemlich einfach sind und billige Kohlen verwendet werden können. Für andere Zwecke hingegen, namentlich für die Beleuchtung, bedarf man eines an brennbaren Bestandteilen reicheren Gases (wie das reine Wassergas) und es bleibt somit nur mehr übrig:

3. bloß so lange durch die glühenden Kohlen Wasserdampf zu blasen, als noch ein brauchbares Gas entsteht, dann aber den Prozeß zu unterbrechen und die Kohlen wieder auf genügend hohe Temperatur zu erwärmen, indem man einfach statt Wasserdampf Luft einbläst, wobei die Kohle zu Kohlensäure und Kohlenoxyd verbrennt und sich so wieder zum Glühen erhitzt.

Wir haben es also mit einem intermittierenden Prozesse zu tun, der aus zwei Phasen besteht: dem Einblasen von Luft zum Erhitzen des Generators (Blaseperiode) und dem Einblasen von Dampf zur Erzeugung von Wassergas (Gasungsperiode).

Wir wollen beide Phasen kurz betrachten.*)

1. Das Blasen.

Den Gleichgewichtszustand, um den es sich hier handelt, haben wir schon früher kennen gelernt. Die Verbrennung von 1 *kg* Kohle bei gewöhnlicher Temperatur gibt, wenn Kohlensäure gebildet wird, 8080 Kalorien, während die Verbrennung derselben Menge Kohlenstoff zu Kohlenoxyd nur 2140 Kolorien liefert. (Die Änderung der Verbrennungswärme mit der Temperatur wollen wir hier unberücksichtigt lassen.)

Die Kohlensäurebildung liefert also fast viermal so viel Wärme wie die Kohlenoxydbildung, weshalb es zweckmäßig erscheinen kann, den Prozeß so zu leiten, daß recht viel Kohlensäure gebildet wird, weil hiedurch die Blasezeit wesentlich verkürzt werden kann (Dellwik). Will man hingegen die Generatorgase noch zu Heizzwecken verwenden (Kesselfeuerungen, Überhitzung des Wasserdampfes, etc.), so kann es nützlicher erscheinen, auf möglichst kohlenoxydreiche Gase, die einen hohen Brennwert besitzen, hinzuarbeiten.

Ist die Schütthöhe der Kohlen genügend hoch, so daß wirklich Gleichgewicht erreicht werden kann, so erhalten wir Grenzwerte, die in Bezug auf Kohlenoxyd nicht überschritten werden können.

*) Technologie der Energien, I., 1., pag. 301.

Der Kohlensäuregehalt läßt sich jedoch erhöhen, indem man entweder die Geschwindigkeit des Luftstroms beschleunigt, oder die Schütthöhe der Kohlen verringert, weil in beiden Fällen die Berührungszeit der Kohlen mit der Luft verkleinert wird.

Aber dieser theoretischen Möglichkeit setzt die Praxis gewisse Grenzen: Man kann die Geschwindigkeit nicht über ein gewisses Maß steigern, ohne die Rentabilität zu gefährden, weil die Berüh-

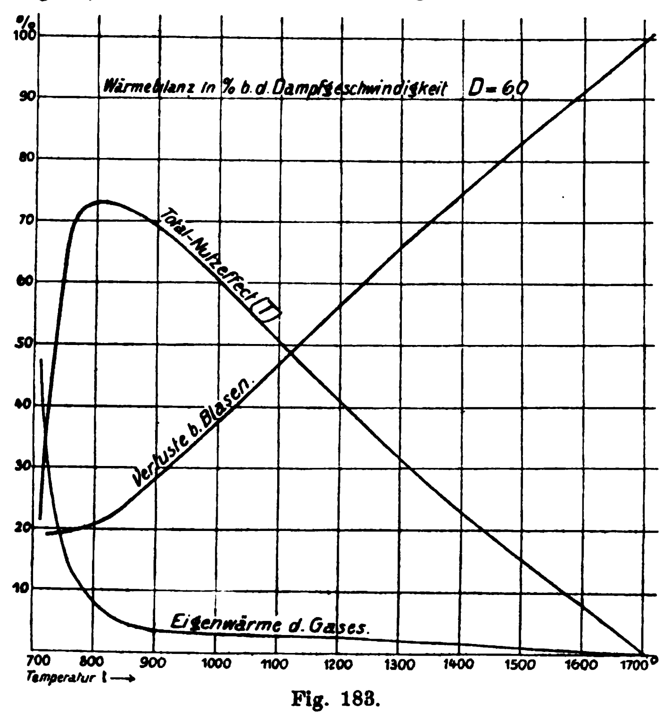


Fig. 183.

rungsdauer zwischen den heißen Verbrennungsgasen und den kälteren Kohlenschichten des oberen Generatorteiles und damit auch die Wärmeübertragung kleiner wird, die Gase also unnötig heiß entweichen. Geschwindigkeiten bis zu 4 *m* auf den freien Querschnitt berechnet, bewirken übrigens noch keine erhebliche Steigerung des Kohlensäuregehaltes, und höhere Windgeschwindigkeiten erfordern unverhältnismäßig kräftige Gebläse, deren hoher Kraftbedarf die Betriebskosten wesentlich erhöht. Man kann aber auch die Schütthöhe der Kohlen nicht allzu klein nehmen, da man ja für die spätere Wassergaserzeugung einer gewissen Schütthöhe bedarf, und weil der Zweck des Blasens die Aufspeicherung von Wärme im Generator ist, was durch die Kohlen vermittelt wird.

Die Leistung des Generators bei verschiedenen Temperaturen läßt sich durch den Nutzeffekt beim Blasen (N) darstellen, worunter Strache die im Generator aufgespeicherte Wärme in Prozenten des Heizwertes der verbrannten Kohle versteht. Wir erhalten so die im Diagramme Fig. 183 ersichtliche Kurve. Wie man sieht, fällt der Nutzeffekt rasch mit steigender Temperatur.

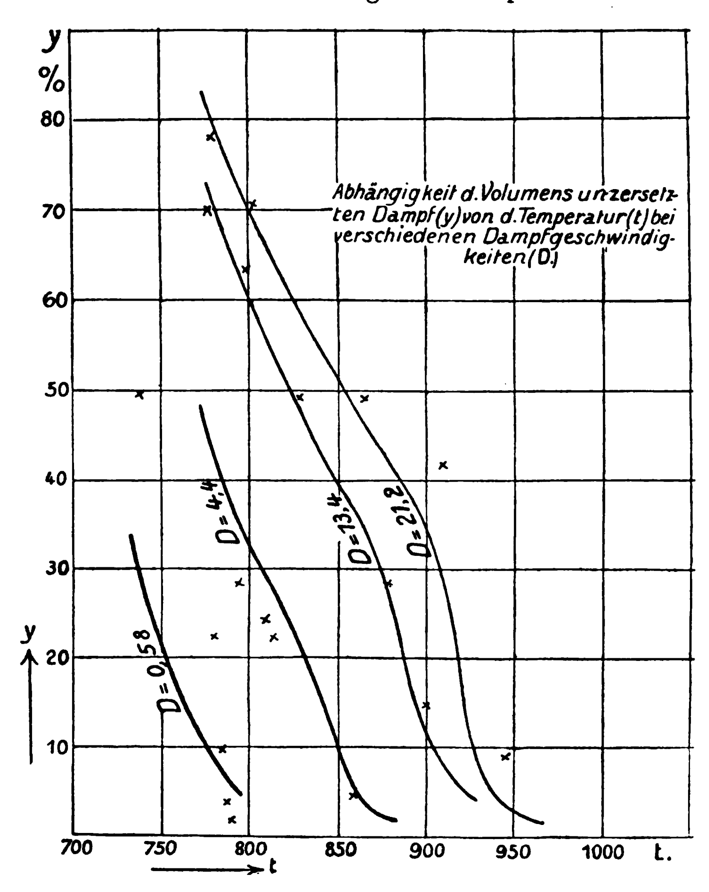


Fig. 184.

Er beträgt beispielsweise

bei	650° C	95·1%
„	800° C	52·7%
„	1000° C	31·2%
„	1500° C	5·3%
„	1710° C	0·0%

Man darf somit, um einen befriedigenden Nutzeffekt beim Blasen zu erzielen, die Temperatur nicht allzu hoch steigen lassen, d. h. nicht allzu lange blasen.

2. Das Gasen.

Die Theorie lehrt,*) daß der Kohlensäure- und Wassergehalt des Wassergases — gleiche sonstige Erzeugungsbedingungen vorausgesetzt — mit steigender Vergasungstemperatur abnimmt, und zwar um so langsamer, je höher die Temperatur steigt. Überdies hat die Erfahrung gelehrt, daß der Wasserdampfgehalt des Gases von der Dampfgeschwindigkeit abhängt (Fig. 184).

Um den Nutzeffekt beim Gasen (N') zu ermitteln, müssen wir beachten, daß die aus dem Generator strömenden Gase demselben eine ihrer Temperatur entsprechende Wärmemenge entziehen, die nicht direkt nutzbar gemacht werden kann, und daß auch durch Wärmestrahlung im Generator Verluste eintreten werden. Unter Berücksichtigung dieser Umstände erhalten wir für eine bestimmte, günstige Resultate liefernde Gasgeschwindigkeit das Diagramm Fig. 183.

Der Nutzeffekt steigt somit mit der Temperatur rasch an, erreicht bei etwa 900° C ein Maximum,**) um dann wieder sehr langsam zu sinken.

Es ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, beim Gasen nicht unter eine gewisse Temperatur herabzugehen.

3. Blasen und Gasen zusammengenommen betrachtet:

Zur Beurteilung des Prozesses ist es nun nötig, die oben besprochenen Betrachtungen zusammenzufassen (Fig. 183).

Beim Blasen darf, wie wir gesehen haben, die Temperatur nicht zu hoch steigen, weil sonst der Nutzeffekt stark sinkt. Beim Gasen hingegen darf er nicht unter eine gewisse Grenze sinken, wenn wir günstig arbeiten wollen.

In früheren Zeiten hatte man (Dortmunder System) das Gasen allein im Auge gehabt und glaubte daher, daß hiebei eine möglichst hohe Temperatur eingehalten werden müsse. Dabei erzielte man allerdings einen hohen Nutzeffekt beim Gasen, während der beim Blasen sehr nieder, und somit der Totalnutzeffekt wenig befriedigend ausfiel.

Dellwick hingegen, dessen Verfahren wir im weiteren als das schwedische bezeichnen wollen, arbeitet nach seinen Angaben beim Blasen auf die Bildung von möglichst viel Kohlensäure

---

*) Siehe Technologie der Energien, I., 1.

**) Alle diese Temperaturangaben beziehen sich auf die mittlere Temperatur des Generators.

hin; die Temperatur des Generators darf daher nicht zu hoch steigen. Hier wird der Nutzeffekt beim Blasen relativ hoch sein, der beim Gasen aber infolge der niederen Generatortemperatur klein ausfallen müssen.

Strache endlich gast bei einer mittleren Generatortemperatur von etwa 700 bis 1000° C, so daß er sowohl beim Blasen als beim Gasen befriedigende Nutzeffekte erreicht und einen maximalen Totalnutzeffekt erzielt.

Man kann das Wassergas entweder rein verwenden, wobei man dasselbe — weil infolge seiner Geruchlosigkeit eine Gasausströmung unbemerkt bleiben und daher Unglücksfälle verursachen könnte — parfümiert, oder man kann es — weil seine Flamme an sich ja nicht leuchtet — karburieren*), d. h. mit Kohlenwasserstoffen, deren Vorhandensein ja auch die Leuchtkraft des gewöhnlichen Leuchtgases bedingt, beladen. Hiebei unterscheidet man die kalte und die heiße Karburation. Bei ersterer wird das Gas mit Benzoldämpfen beladen, während bei letzterer in einen durch die Abgase erhitzten Regenerator Mineralöle eingespritzt werden, die nicht allein verdampfen, sondern auch in gasförmige Kohlenwasserstoffe zerfallen.

Kalt karburiertes Gas als solches, d. h. unvermischt mit anderem Gase, hat den Nachteil, daß leicht Kondensation der mitgeführten Dämpfe eintritt, wodurch Schwankungen in der Leuchtkraft entstehen. Auch wird hiedurch der Heizwert des Gases nur relativ wenig erhöht, weil ja nur eine gewisse, von der Lufttemperatur abhängige Dampfmenge aufgenommen werden kann, und weil bei mehr als 25 bis 30% Benzol Störungen an den Brennern eintreten. Hingegen ist der erforderliche Apparat sehr einfach und läßt sich bei jedem Systeme anwenden. In Österreich ist dieses Verfahren jedoch derzeit teuer wegen der hohen Benzolpreise, während in Deutschland durch den hohen Zoll für Mineralöle der Preis für diese und für Benzol nahezu gleich ist.

Bei der Heißkarburation ist eine nachträgliche Kondensation ausgeschlossen, weil ja hier dem Gase keine Dämpfe, sondern kohlenstoffreiche Gase beigemengt werden. Die Karburierung läßt sich in jedem beliebigen Verhältnisse herstellen und somit Gas von beliebiger Heiz- und Leuchtkraft gewinnen. Überdies kommt sie in Österreich, wie schon erwähnt, billiger als die kalte Karburation.

Daß das nach einer der erwähnten Methoden gewonnene Wassergas zu Heizzwecken, sowie für Gasmotoren vorzüglich geeignet ist, bedarf keiner Auseinandersetzung. Bei der Beleuchtung

*) Das geschieht auch manchmal bei Steinkohlenleuchtgas, um seine Leuchtkraft zu erhöhen.

mit gewöhnlichen Gasbrennern hann natürlich nur karburiertes Wassergas zur Verwandung kommen. Für die Auer-Beleuchtung hingegen bedarf man einer nicht russenden Flamme, die man bei gewöhnlichem Leuchtgas und bei karburiertem Wassergas durch Verwendung von Bunsenbrennern erzielt. Nun gibt aber das reine Wassergas an und für sich eine heiße, nicht leuchtende Flamme, so daß es für Beleuchtungszwecke entschieden am rationellsten ist, reines Wassergas zu benützen, das nur parfümiert, d. h. so viel mit stark riechenden Kohlenwasserstoffen beladen ist, daß es zwar kräftig riecht, aber noch nicht leuchtet.

Dem steht aber die Schwierigkeit gegenüber, daß das reine Wassergas andere Brenner benötigt, daß man also heute noch bei schon bestehenden Anlagen sozusagen als Übergangsstadium Gas liefern muß, welches in den vorhandenen Brennern verwendbar ist, während man bei Neuanlagen unzweifelhaft zum unkarburierten, aber parfümierten Wassergase greifen sollte. Man bedient sich bei Wassergas zweckmäßig eines eigens geformten Ringbrenners und hat den Vorteil, daß die Auerstrümpfe immer ihre Leuchtkraft behalten, während diese bei gewöhnlichem Leuchtgase im Verlaufe der Zeit stark abnimmt. Es rührt dies daher, daß die wegstehenden Fäserchen der Auerstrümpfe bei Wassergas sofort abbrennen, während sie bei Leuchtgas nur langsam verschwinden, obwohl auch Verflüchtigungserscheinungen mitzuspielen scheinen. Die höhere Verbrennungstemperatur des Wassergases bedingt gleichzeitig eine stärkere Lichtemission und Licht von weißerer Farbe.

Für ältere Anlagen, die in Wassergasanlagen umgewandelt oder durch solche vergrößert werden sollen, müßten wir also zu karburiertem Wassergase greifen und wird es eine Frage der Kalkulation sein, ob man kalte oder heiße Karburation wählen wird. Handelt es sich endlich um Vergrößerung schon bestehender Steinkohlenleuchtgasanlagen, so kann dies gleichfalls zweckmäßig durch Hinzubau einer Wassergasanlage geschehen, indem man entweder das erzeugte und karburierte Wassergas einfach in den Gasbehältern dem gewöhnlichen Leuchtgase beimischt, oder aber das reine, unkarburierte Wassergas durch die Gasretorten der bestehenden Steinkohlengasanlage leitet und so das Wassergas durch die sogenannte Autokarburation leuchtend macht und schon in den Retorten mit dem gewöhnlichen Leuchtgase mengt.

In allen Fällen hat man gegenüber dem gewöhnlichen Leuchtgase den Vorteil eines viel kleineren Platzerfordernisses sowie kleinerer Anlagekosten und billigerer Bedienung.

Weitere Vorteile sind, daß die Kohle gänzlich vergast werden kann, während bei der Leuchtgasfabrikation zwei Drittel als Koke

zurückbleiben; ferner daß der Prozeß nach Belieben unterbrochen und wieder angefangen werden kann und daß aus der angewendeten Kohle sechsmal so viel Gas gewonnen werden kann als bei der Leuchtgasfabrikation.

Es bleibt nur noch übrig, von der Gefährlichkeit des Wassergases im Vergleiche zum Leuchtgase zu sprechen, die stark übertrieben worden ist. Der eigentlich giftige Bestandteil in beiden ist das Kohlenoxyd; daneben treten im Leuchtgase noch höchst giftige Cyanverbindungen auf, die im Wassergase fehlen. Die übrigen Bestandteile können nicht eigentlich als giftig bezeichnet werden. Die Explosionsgefahr hingegen, die ja auch bei Leuchtgas viel häufiger auftritt als die Vergiftungsgefahr, ist beim Wassergase entschieden kleiner als beim Leuchtgase. Und wenn man parfümiertes Wassergas anwendet, das ja jede Gasausströmung sofort, und zwar noch mehr, als beim Leuchtgase der Fall ist, bemerklich macht, scheint jede Furcht vor irgend einer Gefahr ganz überflüssig.

Wir wollen nun die verschieden gebräuchlichen Systeme der Wassergaserzeugung einer kurzen vergleichenden Besprechung unterziehen.

In allen Fällen ist der Apparat, in dem die Gasbereitung erfolgt, der Generator, ein zylindrischer Raum, der gegen Wärmestrahlung geschützt werden muß und mit Kohlen gefüllt ist. Um den Kohlen die zur Gasung nötige Temperatur zu geben, wird, wie schon erwähnt, zunächst (in der Blasperiode) Luft eingeblasen (die sogenannte Primärluft), wobei ein Teil der Kohlen zu Kohlensäure und Kohlenoxyd verbrennt. Die Verbrennungsgase treten mit einer, je nach dem benützten Arbeitssysteme verschiedenen Temperatur aus, entführen daher eine mehr oder weniger große Wärmemenge. Außerdem enthalten dieselben aber auch manchmal recht beträchtliche Mengen von Kohlenoxyd, das ja bei seiner Verbrennung noch Wärme liefern kann. Beides verursacht Wärmeverluste und es entsteht somit zunächst die Aufgabe, die so dem Generator entgehenden Energiemengen in irgend einer Weise nutzbar zu machen.

Bei dem schwedischen System von Dellwick, wo das Blasen so geleitet wird, daß möglichst viel Kohlensäure entsteht, ist sowohl die Temperatur als auch der Kohlenoxydgehalt der ausströmenden Gase so niedrig, daß eine praktische Wiedergewinnung dieser Wärmeverluste ausgeschlossen erscheint, weshalb hierauf auch verzichtet wird. Tatsächlich sind diese Wärmeverluste hier auch ziemlich klein, d. h. der Nutzeffekt beim Blasen ist hier sehr groß. Aber es handelt sich beim Wassergasprozesse ja nicht allein um die relative Anzahl der Kalorien, welche bei der Verbrennung

entstehen, sondern, und zwar für den nachfolgenden Gasungsprozeß, in hervorragendem Maße um die Wärmemenge, die im Generator aufgespeichert wird, und um die Temperatur, die in demselben erreicht wird.

Der Nutzeffekt des Warmblasens ist hier ein sehr hoher; es wird aber nur eine verhältnismäßig niedere Temperatur erreicht und demzufolge muß der Nutzeffekt beim Gasen relativ klein ausfallen.

Arbeitet man hingegen, wie dies beim alten englischen Systeme ebenso wie beim Strache'schen der Fall ist, beim Blasen auf höhere Temperatur hin, so kann man die entweichenden Gase mit Vorteil zur Erwärmung der Regeneratoren benützen, wobei man zur Verbrennung des vorhandenen Kohlenoxyds vorteilhafterweise Sekundärluft einführen kann.

Die in den Regeneratoren aufgespeicherte Wärme wird nun weiter verwendet:

a) beim englischen System (von Humphrays und Glasgow) zur Ölvergasung (also zur Karburation);

b) beim System von Strache je nach Umständen zur Ölvergasung oder zur Dampfüberhitzung.

Wie man aus diesen Betrachtungen sieht, hat:

1. das schwedische System keine Regeneration und kann das Gas daher nur kalt karburieren;

2. das englische System arbeitet mit Regeneratoren und nützt dieselben zur Heißkarburation aus;

3. das System Strache endlich kann sich nach Belieben der heißen oder der kalten Karburation bedienen, was in Anbetracht möglicher Preisschwankungen der benützten Stoffe von Vorteil ist. Soll die kalte Karburation gewählt werden, so kann die in den Regeneratoren aufgespeicherte Wärme vorteilhaft zur Überhitzung des Wasserdampfes dienen.

Nach dem bereits Gesagten läßt sich die Beschreibung der einzelnen Systeme kurz fassen:

1. Schwedisches System (Dellwick). Es besteht aus einem einzigen Generator, durch welchen abwechselnd einmal Luft und einmal Dampf geblasen wird, und zwar die Luft von unten, der Dampf — je nach der Wärmeverteilung im Generator — abwechselnd von unten oder oben. Die Karburation erfolgt auf kaltem Wege.

2. Englisches System (Humphreys und Glasgow). An den einen vorhandenen Generator schließen sich zwei Regeneratoren, von denen der eine Verdampfer, der andere aber Über-

hitzer genannt wird. In letzterem wird das Kohlenoxyd durch Sekundärluft verbrannt. Der Dampf durchströmt Generator und Regenerator in derselben Richtung wie früher die Primärluft (Parallelstromprinzip), was weniger günstig ist. Das Mineralöl zur Karburation wird im heißesten Teile des Generators eingespritzt, geht also auch nach dem Parallelstromprinzip durch den Apparat.

Da nach diesem Systeme eine möglichst hohe Gasungstemperatur angestrebt wird, ist eine lange Blasezeit erforderlich, während die Gasungsperiode nur relativ kurz sein kann.

3. Das System Strache wird, je nach dem Zwecke, welchem die Gasanstalt dienen soll, in verschiedenen Typen ausgeführt. Es hat infolge des verwendeten Blaseprinzipes kurze Blasezeit (1—2 Minuten), an welche sich eine relativ lange Gasungsperiode anschließt (5—10 Minuten). Im Generator ist kein Rost vorhanden; die Vergasung erfolgt nach dem Gegenstromprinzipe, wodurch eine möglichst große Wärmeausnützung erzielt wird. Dort, wo heiße Karburation angewendet wird, ist gleichfalls das Gegenstromprinzip eingehalten, wodurch der Ölverbrauch wesentlich verringert wird. Nach einem Betriebsberichte aus Charkow wurden pro 1 m^3 13-Hefnerkerzen-Gas-132 *g* Rohnaphta benötigt, wobei bis 54% Wassergas dem Steinkohlengase zugesetzt wurden, ohne daß ein nachteiliger Einfluß bei den Gasglühlichtbrennern beobachtet worden wäre. Dies beweist, daß die Karburierung genügend war, weil unkarburiertes Gas in gewöhnlichen Auerbrennern nicht verwendbar ist. Hingegen wurden bei älteren Systemen anfänglich 750 *g* Öl per m^3 und nach weiteren Verbesserungen 320 *g* Öl für ein Gas von $32\frac{1}{2}$ Hefnerkerzen verbraucht.*) Nach der amtlichen Statistik der englischen Gaswerke wurden im Durchschnitt (von 70 Gaswerken) 400 *g* Öl pro 1 m^3 Gas bei 15—20 Hefnerkerzen-Lichtstärke verbraucht. Endlich wurden nach Versuchen, die Leybold in Brüssel anstellte, 19—22 *g* Öl, in Bremen aber 20 *g* pro 1 Kubikmeter-Kerze benötigt.

Außerdem ist auch die Anwendung von hydraulischen Verschlüssen und von Hebevorrichtungen sowie eines sehr bequemen Umschalters zur Vermeidung von Explosionen hervorzuheben und ein Vergleichsmanometer zu erwähnen. Für letzteres ist sowohl in der Dampfleitung als in der Gasableitung vom Scrubber je eine Drosselung angebracht und die Räume vor und hinter derselben sind durch ein Differentialmanometer verbunden. Die Ausschläge dieser Manometer geben ein Maß für die Dampf- und Gasgeschwindigkeit und ihr Vergleich ergibt die Menge des unzersetzten Dampfes.

*) Journ. f. Gasbeleuchtung, 10. Februar 1903.

Die Reinigung des Gases (von Dampf und Flugasche) erfolgt durch Scrubber und (von Schwefelwasserstoff) Massereiniger, wozu für unkarburiertes Gas noch ein Schwefelsäurereiniger zur Zersetzung des Eisencarbonyls kommt. Die Leuchtkraft der Auerstrümpfe nimmt nämlich bei nicht gereinigtem Wassergase rasch ab. Dies rührt von dem Gehalte des Gases an Eisencarbonyl, $Fe(CO)_4$, her, das bei seiner Verbrennung den Glühkörper mit einer gelben bis braunen Schicht von Eisenoxyd belegt. Nach Strache wird nun dieses Eisenkohlenoxyd durch Waschen mit konzentrierter Schwefelsäure zerlegt.

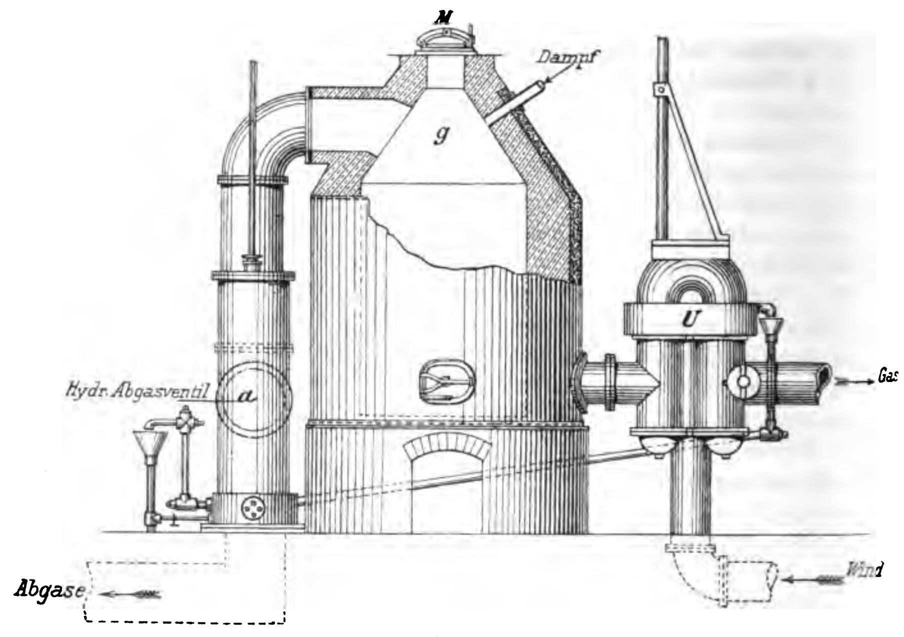


Fig. 185.

Da es zu weit führen würde, die bisher in Vorschlag gebrachten Konstruktionen eingehender zu besprechen, wollen wir uns im folgenden darauf beschränken, einige Typen der Stracheschen Apparate anzuführen.

Die Einrichtung des einfachsten Apparates für Koke- oder Anthrazitvergasung (Type A) ist aus Fig. 185 ohne weiteres ersichtlich. Er besteht aus einem zylindrischen, mit Schamotte ausgekleideten Schachtgenerator und aus einem Scrubber. Vor den Morton-Türen des Apparates sind, namentlich bei größeren Anlagen, Rippen aus feuerfestem Materiale angebracht, die das Herausfallen der Kohlen verhindern. Der Apparat besitzt ferner

ein hydraulisches Abgasventil a, das in Fig. 186 im Schnitte dargestellt ist, und ein Umschalter V.

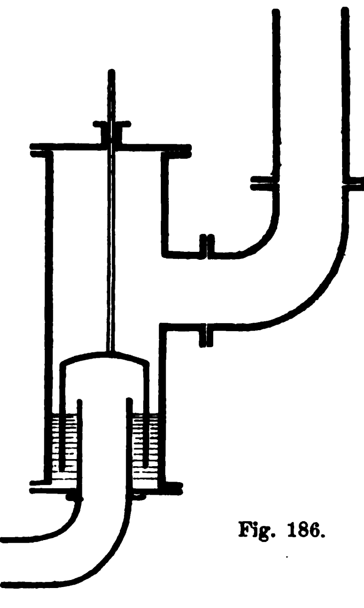


Fig. 186.

Kokeverbrauch pro 1 m^3 Gas 0·5 *kg* Koke-Kohlenstoff (Schilling, inklusive erstes Anheizen und zweistündige Unterbrechung während des Versuches).

Die Type B für Koke, Steinkohle oder Braunkohle ist namentlich dort vorzuziehen, wo magere Steinkohlen oder Braunkohlen billiger zu stehen kommen als Koke. Von der vorigen unterscheidet sie sich hauptsächlich durch das Vorhandensein eines Regenerators, wodurch eine noch bessere Brennstoffausnützung erzielt wird. Daß die Vergasung hier auch mit Braunkohlen rentabel durchführbar ist, zeigt unter anderem die Anlage der Stadt Pettau.

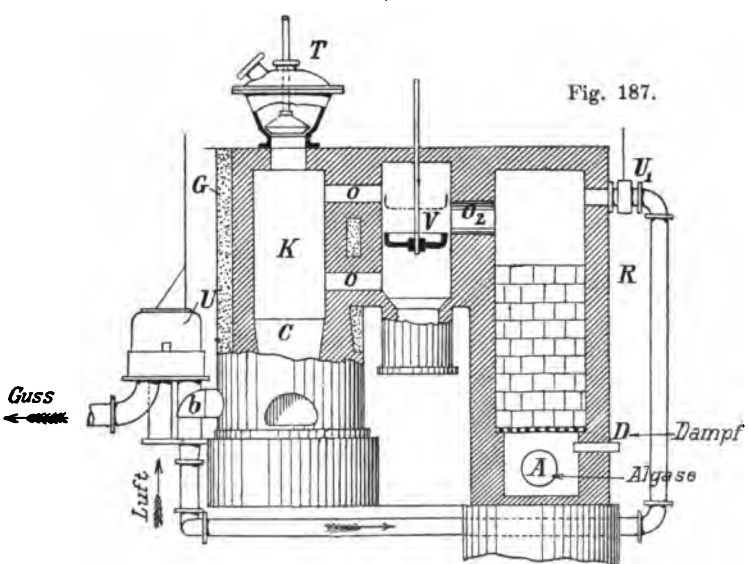


Fig. 187.

Der Generator K, Fig. 187, wird mit Kohlen gefüllt und das Ventil V hochgezogen, so daß die Gase durch den unteren der

beiden Kanäle o entweichen, worauf man — nach passender Stellung des Umschalters U — Luft einbläst. Im unteren Teile des Generators findet teilweise Verbrennung, im oberen trockene Destillation statt. Die heißen Gase treten durch o_2 von oben in den Regenerator und werden mit Sekundärluft (die bei U_1 eintritt und deren Menge durch die Klappe b geregelt werden kann) verbrannt. Sie strömen durch den Generator R nach abwärts, erhitzen die darin aufgeschichtete Füllung und entweichen durch A in die Esse. Beim Putzen des Generators sinkt die im oberen Teile desselben zurückbleibende Koke nach abwärts, worauf durch den Fülltrichter T, der so konstruiert ist, daß durch ihn keine erheblichen Gasmengen entweichen können, Kohle nachgefüllt wird.

Ist die richtige Temperatur im Generator und Regenerator erreicht, so wird U_1 geschlossen und V so weit gesenkt, daß der Durchgang durch den unteren Kanal o geschlossen ist, worauf man U umsteuert. Nun wird bei D Dampf eingeblasen, der im Regenerator überhitzt wird, durch o_2 und den oberen Kanal o in den Generator gelangt, diesen von oben nach unten durchströmt und durch den Umschalter U zum Scrubber und dem Gasreiniger gelangt.

Die Brennstoffausnützung in diesem Generator illustrieren folgende Angaben über den Kohlenverbrauch pro 1 m^3 Gas:

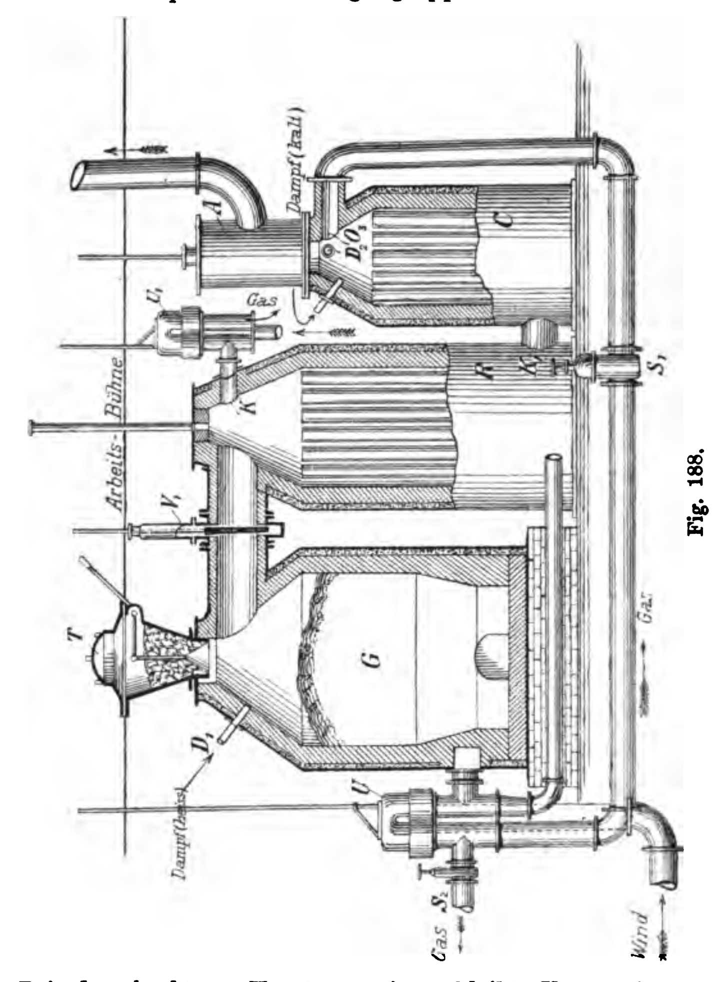
Oberschlesische Steinkohle . . .	0·55—0·64 *kg*	(Strache)
Buchberger Braunkohle	1·02 „	„
Koke	0·367 „	(Chimay, Belgien)
„	0·51 „	(Broni, Italien).

Type C, Anlage zur beliebigen heißen oder kalten Karburation (Fig. 188). Der Apparat besteht aus dem Generator G, dem Überhitzer R und dem Verdampfer C. Der Fülltrichter T dient zum Nachfüllen von Kohle. Beim Warmblasen tritt der Wind durch den Umschalter U in den Generator und durchströmt denselben von unten nach oben. Die Abgase gelangen bei geöffnetem Schieber V_1 in die beiden Regeneratoren, werden im Überhitzer durch die bei K eintretende Sekundärluft verbrannt, erhitzen diese beiden Apparate und gelangen durch das Abgasventil A zum Schornstein.

Das Gasen erfolgt verschieden, je nachdem heiß- oder kaltkarburiertes (bezw. unkarburiertes Gas) erzeugt werden soll.

Bei der heißen Karburation wird V_1 geschlossen und durch D_1 Dampf eingeblasen, der den Generator von oben nach unten durchströmt. Das Wassergas geht durch den Umschalter U nach abwärts und kommt bei O_3 in den Verdampfer, in welchen oben Öl eingespritzt wird. Das Gemenge von Wassergas und Öl-

dämpfen durchströmt nun von unten nach oben den Überhitzer R, worin die heiße Karburation durchgeführt wird, und gelangt durch den Umschalter U_1 zu den Reinigungsapparaten.



Bei der kalten Karburation bleibt V_1 geöffnet. Der Wasserdampf strömt bei D_2 in den Verdampfer, in welchen jetzt kein Öl eingespritzt wird, überhitzt sich in diesem, wie im Überhitzer; er durchströmt nun den Generator von oben nach unten, wobei Wassergas gebildet wird, das durch den Umschalter U zum Kaltkarburierapparate gelangt.

Kokeverbrauch pro 1 m^3 Gas 0·853 *kg* (Charkow) mit Anheizen und Verbrauch des Dampfkessels.

Die nach dem englischen System von der Firma Pintsch erbaute Wassergasanlage in der Wiener städtischen Gasanstalt dient als Erweiterungsanlage derselben. Sie besitzt Doppelgeneratoren und ist für heiße Karburation eingerichtet.

Über die Betriebskosten von Wassergasanlagen können die folgenden Beispiele Aufschluß geben:

a) Städtische Wassergaszentrale für Beleuchtung, Heizung und Kraftverteilung. Dieselbe enthält zwei Generatoren zu 30–50 m^3 stündlicher Gaserzeugung. Die maximale Tagesproduktion beträgt 2400 m^3, die Jahresproduktion 200.000 bis 400.000 m^3. Von den Generatoren gelangt das Gas durch den Scrubber zu einem Zwischenbehälter, dann durch die Massenreiniger und den Produktionsgasmesser zum Hauptbehälter. Von hier gelangt dasselbe durch einen Schwefelsäureapparat, Druckregler und Parfümeur in das Rohrnetz.

Der Wind wird von einem Gebläse geliefert, neben welchem noch ein Reserveventilator vorhanden ist. Zum Betriebe derselben dient für gewöhnlich ein Gasmotor, im Falle einer nötig werdenden Reparatur jedoch eine Reservedampfmaschine. Im Winter stehen beide Generatoren Tag und Nacht, im Frühjahr und Herbst ein Generator gleichfalls Tag und Nacht, im Sommer auch nur ein Generator bei Tag in Betrieb.

Rechnet man den Preis der Kohlen zu 17 M., den der Koke zu 20 M., so ergibt sich für die Betriebskosten bei voller Ausnützung des Generators:

1. Materialverbrauch:	M.	M.
a) Kohlen zum Gasmachen 165 *t* à 17 M. . . .	2805·—	
b) „ zur Dampferzeugung 33 *t* à 17 M. . .	561·—	
c) „ für den Gasmotorenbetrieb 12 *t* à 17 M.	204·—	
d) Koke zum Warmblasen 7·5 *t* à 20 M. . . .	150·—	
e) Reinigung und Parfümierung pro 1 m^3 0·26 Pf.	780·—	
f) Schmier- und Putzmaterial	170·—	
An Materialverbrauch		4670·—

2. Arbeitslöhne:		
1 Gasmeister, jährlich à 1500 M.	1500·—	
2 Heizer im Sommer, 3 „ „ Winter } jährlich à 1100 M. . .	2750·—	
1 Hilfsarbeiter, jährlich à 900 M.	900·—	
An Arbeitslöhnen		5150·—

3. Reparaturen:	M.	M.
Ersatz der Ausmauerung des Generatorunterteiles	130·—	
„ „ Regeneratorfüllung	100·—	
Unvorhergesehenes	300·—	
An Reparaturen		530·—
Summa pro Jahr		10350·—

Somit Selbstkosten pro 1 m^3 erzeugten Gases ohne Regiekosten sowie ohne Verzinsung und Amortisation 3·45 Pf.

Selbstkosten pro Flammenbrennstunde:

25kerzige Flamme, stündlicher Konsum 60 l; 0·21 Pf.
50 „ „ „ „ 100 l; 0·35 „
100 „ „ „ „ 180 l; 0·62 „

b) Wassergasanlage für Beleuchtung, Heizung und Kraftverteilung mit einem Generator à 10—20 m^3 stündlicher Leistung. Maximale Tagesproduktion in 24 Stunden 480 m^3, die aber durch Anwendung eines Gebläses auf 800 m^3 gesteigert werden kann. Die Jahresproduktion beträgt somit 80000 bis 160000 m^3.

Die Anlage (Fig. 189, 190) eignet sich wegen ihrer Einfachheit und der sehr geringen Anlagekosten für kleine Städte und größere Etablissements. Eine nähere Beschreibung erscheint wohl überflüssig. Zwischen Ofen und Wassertopf kann ein Umschalter angebracht werden, an welchen ein mittels Gasmotor zu betreibendes Zentrifugal-Niederdruckgebläse angeschlossen wird. Der Platz für Gasmotor und Gebläse ist vorgesehen und in der Zeichnung angedeutet. Durch Anbringen des Gebläses wird die Leistung etwa verdoppelt.

Betriebskosten:

	Betrieb ohne Gebläse Jahresproduktion 80 000 m^3		Betrieb mit Gebläse Jahresproduktion 160 000 m^3	
1. Materialverbrauch:	M.	M.	M.	M.
a) Kohlen zum Gasmachen, 80 (160) t à 17—	1360·—		2720·—	
b) Kohlen für Motorenbetrieb (8) t à 17—	—·—		136·—	
c) Kohlen zum Anheizen, 5 t à 17—	85·—		85·—	
d) Reinigung und Parfümierung pro 1 m^3 0·26 Pf.	208·—		416·—	
e) Schmier- und Putzmaterial .	20·—		50·—	
An Materialverbrauch		1673·—		3407·—

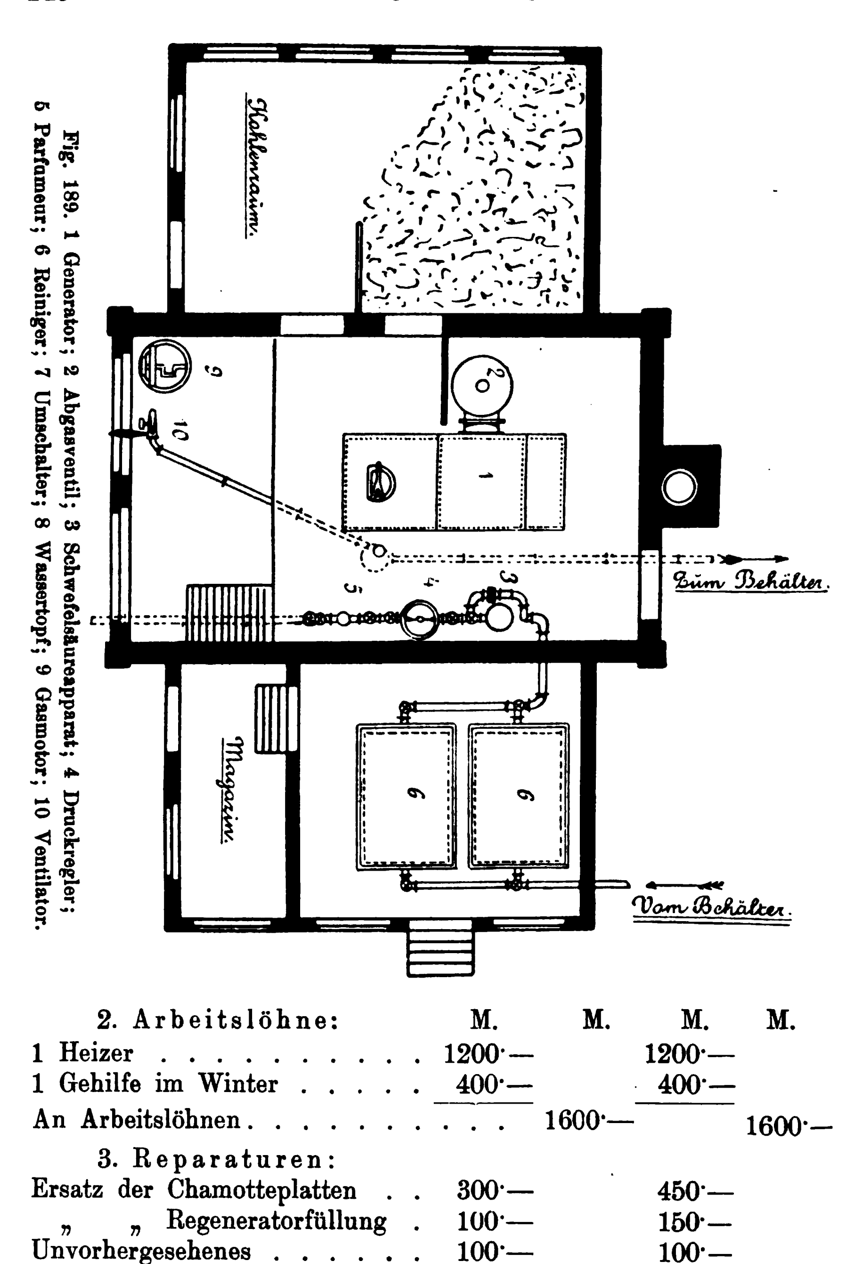


Fig. 189. 1 Generator; 2 Abgasventil; 3 Schwefelsäureapparat; 4 Druckregler; 5 Parfumeur; 6 Reiniger; 7 Umschalter; 8 Wassertopf; 9 Gasmotor; 10 Ventilator.

	M.	M.	M.	M.
2. Arbeitslöhne:				
1 Heizer	1200·—		1200·—	
1 Gehilfe im Winter	400·—		400·—	
An Arbeitslöhnen		1600·—		1600·—
3. Reparaturen:				
Ersatz der Chamotteplatten . .	300·—		450·—	
„ „ Regeneratorfüllung .	100·—		150·—	
Unvorhergesehenes	100·—		100·—	
An Reparaturen		500·—		700·—
Summe pro Jahr		3773·—		5707·—

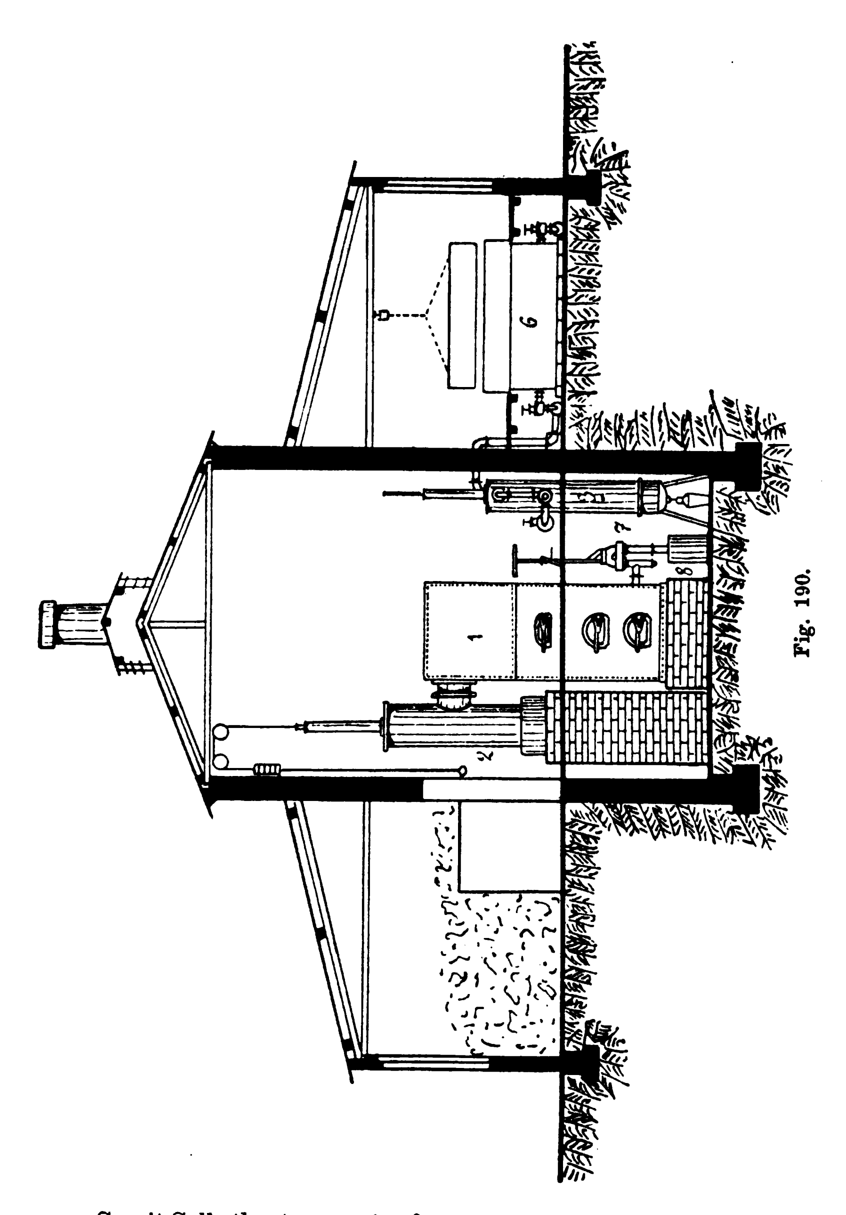


Fig. 190.

Somit Selbstkosten pro 1 m^3 erzeugtes Gas ohne Regiekosten, sowie ohne Verzinsung und Amortisation	4·72 Pf.	3·75 Pf.

Selbstkosten pro Flammenbrennstunde:

25kerzige Flamme, 60 *l* Gas pro 1 Stunde	0·28 Pf.	0·21 Pf.
50kerzige Flamme, 100 *l* Gas pro 1 Stunde	0·47 „	0·36 „
100kerzige Flamme, 180 *l* Gas pro 1 Stunde	0·85 „	0·64 „

Vergleichung der Gestehungskosten von Steinkohlengas und Wassergas.

a) Städtisches Gaswerk in Berlin 1898/99:
Jahresproduktion 128140000 m^3 Steinkohlengas.

	M.	M.
1. Brennmaterial:		
Kohle zur Gaserzeugung 44338·6 *t* à M. 19·35	8575585	
Koke zur Unterfeuerung 67867 *t* à M. 12·30	818125	
An Brennmaterial		9393710
2. Ertrag aus Nebenprodukten:		
Koke, Asche, etc. 276808 *t*	4410218	
Teer à 30·89 M. pro 1 *t*	695385	
Ammoniakwasser	249073	
Ertrag an Nebenprodukten		5494147
Kosten des Brennmateriales, abzüglich den Ertrag der Nebenprodukte		3899563
Reinigungsmasse		28239
Arbeitslöhne		1102421
Unterhaltung des Grundes		16838
Ofenumbau		225061
Unterhaltung der Gebäude und Apparate		165757
Unterhaltung der Geräte		55389
Sonstige Betriebskosten		334750
Pensionen und Unterstützungen		87307
Summe . . .		5915325

also pro 1 m^3 4·61 Pf.

Der Betrieb einer Anlage mit der gleichen Produktionsmenge von Wassergas würde kosten:

		M.
1. Brennmaterialien:		
Kohle zur Gaserzeugung	64070 *t*	
„ „ Dampferzeugung	14095 *t*	
„ zum Motorenbetrieb	940 *t*	
Total . . .	79105 *t* à 19·35 .	1530681
Koke zum ersten Warmblasen	90 *t* à 12·30 .	1107
Summe . . .		1531788

	M.
An Brennmaterial	1531788
Reinigungsmasse	28239
Schwefelsäure, 768840 *kg*	61507
Parfümierung, 3845 *kg* Carbylamin	134575
Arbeitslöhne	148000
Unterhaltung des Grundes	8000
Ausmauerung der Generatoren	48000
Unterhaltung der Gebäude und Apparate	80000
Unterhaltung der Geräte	55389
Sonstige Betriebskosten	334750
Pensionen und Unterstützungen	15000
Summe	2445248

also pro 1 m^3 1·90 Pf.

b) Städtisches Gaswerk in Genf.

Jahresproduktion 7851730 m^3 Steinkohlengas.

	Frcs.	Frcs.
1. Brennmaterialien:		
Kohle zur Gaserzeugung	814969	
Koke zur Unterfeuerung, 5400 *t* à 21 Frcs.	112890	
An Brennmaterial		927859
2. Ertrag aus Nebenprodukten:		
Koke	267951	
Teer	39472	
Ammoniak	16107	
Ertrag aus Nebenprodukten		323530
Kosten des Brennmateriales, abzüglich den Ertrag aus Nebenprodukten		604329
Reinigungsmasse		2039
Arbeitslöhne		156913
Unterhaltung der Fabrik		91797
Unkosten		10300
Unfall- und Krankenkasse		13356
Summe		878734

Somit Gestehungskosten pro 1 m^3 11·15 Centimes.

Eine ebenso große jährliche Wassergasproduktion würde kosten:

1. Brennmaterialien:			Frcs.
Kohle zur Gaserzeugung	3926 *t*		
„ „ Dampferzeugung	864 *t*		
„ zum Motorenbetrieb	65 *t*		
Total	4855 *t*	à Frcs. 30·30	146707
Koke zum ersten Warmblasen,	300 *t*	à Frcs. 21·—	6300
Summe			153007

	Frcs
An Brennmaterial	153 007
Reinigungsmasse	2 039
Schwefelsäure, 47 120 *kg*	4 712
Parfümierung, 236 *kg* Carbylamin	10 620
Arbeitslöhne	34 000
Unterhaltung der Fabrik	30 000
Unkosten	10 300
Unfall- und Krankenkasse	4 000
Summe . . .	248 678

Somit Gestehungskosten pro 1 m^3 Wassergas 3·17 Centimes.

c) Gaswerk Hildburghausen.

Jahresproduktion 151 230 m^3 Steinkohlengas.

(Da keine näheren Angaben vorliegen, wurden im folgenden die Preise von Kohle und Koke zu 20 M. pro Tonne angenommen.)

	M.	M.
1. Brennmaterialien:		
Kohle zur Gaserzeugung, 570 *t* à 20 M.	11 400·—	
Koke zur Unterfeuerung, 199 *t* à 20 M.	3 980·—	
An Brennmaterial		15 380·—
2. Ertrag aus Nebenprodukten:		
Koke 324 *t* à 20 M.	6 480·—	
Teer 27 *t* à 30 M.	810·—	
Ammoniak, etc.	300·—	
Ertrag der Nebenprodukte		7 590·—
Kosten des Brennmateriales, abzüglich den Ertrag aus Nebenprodukten		7 790·—
Reinigungsmaterial		33·—
Arbeitslöhne zur Gaserzeugung, 989 Schichten à 3 M.		2 967·—
Summe . . .		10 790·—

Somit Gestehungskosten von 1 m^3 Gas (ohne Nebenauslagen und Reparaturen, sowie ohne Verzinsung und Amortisation) 7·14 Pf.

Eine gleich große jährliche Wassergasproduktion hätte gekostet:

Brennmaterial:		M.
Kohle zur Gaserzeugung	83·2 *t*	
„ „ Dampferzeugung	18·8 *t*	
„ zum Motorenbetrieb	6·1 *t*	
Total . . .	108·1 *t* à 20 M.	2 162·—
Koke zum ersten Warmblasen, 30 *t* à 20 M.		600·—
Summe . . .		2 762·—

	M.
An Brennmaterialien	2762·—
Reinigungsmasse	33·—
Schwefelsäure, 908 *kg* à 8 Pf.	72·64
Parfümierung, 4·45 *kg* Carbylamin	159·36
Arbeitslöhne zur Gaserzeugung, 365 Schichten à 3 M.	1095·—
Summe . . .	4122·—

Somit Gestehungskosten pro 1 m^3 Gas (wie oben) 2·72 Pf.

Übungsthemen.

Wie im vorigen Kapitel; Vergleichung verschiedener Beleuchtungsarten für bestimmte Zwecke.

XII. Kapitel.

Acetylen und sonstige Gasbeleuchtungsarten.

Das Acetylen (C_2H_2 oder $H.C \equiv C.H$), das niederste Glied der nach ihm benannten Reihe von Kohlenwasserstoffen, wurde 1859 von Berthelot aus seinen Metallverbindungen abgeschieden. Es läßt sich aus verschiedenen organischen Verbindungen (Alkohol, Äther, Äthylen, Methan, etc.) erhalten, wenn man ihre Dämpfe durch eine rotglühende Röhre leitet oder der Einwirkung des Induktionsfunkens aussetzt. Die direkte Synthese dieser Verbindung aus den Elementen gelingt, wenn man zwischen zwei Kohlenspitzen in Wasserstoffgas den elektrischen Lichtbogen überschlagen läßt (Berthelot). Es entsteht auch bei der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, z. B. wenn man die Flamme eines Bunsenbrenners durchschlagen läßt; ferner aus Chloroform, wenn man seine Dämpfe über glühendes Kupfer leitet oder wenn Natrium auf dasselbe einwirkt; endlich bei der Elektrolyse wässeriger Lösungen gewisser organischer Säuren (Fumarsäure, Maleinsäure, etc.).

In Laboratorien wurde das Acetylen früher gewöhnlich durch Kochen von Äthylenbromid mit konzentrierter alkoholischer Kalilösung dargestellt:

$$C_2H_4Br_2 + 2\,KOH = C_2H_2 + 2\,KBr + 2\,H_2O.$$

Heute erfolgt, und das ist für die Verwendung des Gases von besonderer Wichtigkeit, die Darstellung des Acetylens in höchst einfacher Weise durch Einwirkung von Wasser auf Calciumcarbid:

$$CaC_2 + 2\,H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2.$$

1 *kg* reines Calciumcarbid gibt somit 0·406 *kg* Acetylen.

Das Acetylen ist bei gewöhnlicher Temperatur ein durchdringend knoblauchartig riechendes Gas von der Dichte 0·91 (Luft = 1) oder 13 (Wasserstoff = 1). Sein Kondensationspunkt liegt bei verschiedenen Drucken wie folgt:

1	Atm. . . .	— 82 ° C.
9	„ . . .	— 33·6° „
11·01	„ . . .	— 23·0° „
17·06	„ . . .	— 10·0° „
21·53	„ . . .	± 0 ° „
25·84	„ . . .	+ 5 ° „
32·77	„ . . .	+ 13·5° „
39·76	„ . . .	+ 19·5° „

Sein kritischer Punkt liegt bei + 37° C, und bei 19·5° C gibt 1 *kg* flüssiges Acetylen 896 *l* Gas vom Atmosphärendruck.

Bei Atmosphärendruck und gewöhnlicher Temperatur ist das Acetylen stabil; bei 500° C zeigt es jedoch eine Neigung zu polymerisieren und Benzol und Styrolen zu geben. Bei 700° und bei noch höheren Temperaturen zerfällt es in Kohlenstoff und Wasserstoff, und zwar um so rascher, je höher die Temperatur liegt. Die Stärke der Explosion hängt von dem Drucke ab, unter welchem sich das Gas befindet, doch ist die Ursache dieses Druckeinflusses nicht bekannt. Gegenwart von Eisen oder Nickel begünstigt die Zersetzung; flüssiges Acetylen explodiert somit leichter als gasförmiges.

Die Ursachen der Explosion können mannigfache sein, wie:

1. Reibungen und andere mechanische Wirkungen im Innern der Masse. – Ein zu rasch gedrehter Hahn, das unzeitige Anziehen einer Schraube kann schon Explosionen hervorrufen.

2. Wenn komprimiertes Acetylen mit einem abgeschlossenen Luftraume von niederem Drucke in Berührung kommt, kann eine Erwärmung eintreten, die hinreicht, um das Gasgemenge zu entzünden.

Aus diesem Grunde wurde die Anwendung von Acetylen unter Druck verboten.

Wasser löst das gleiche Volum, Alkohol und Äther noch größere Mengen von Acetylen auf, während gesättigte Kochsalzlösung nur $^1/_{20}$ seines Volums an Acetylen absorbiert, so daß man dieses Gas ober einer solchen Lösung auffangen kann.

Auch Aceton vermag Acetylen zu lösen und man hat gefunden, daß eine solche Lösung weit weniger leicht als Acetylen allein explodiert. Sättigt man Aceton mit Acetylen unter einem Drucke von 13 *kg*, und läßt man in dem Gefäße, welches diese

Lösung enthält, eine Kapsel explodieren, so explodiert die Flüssigkeit nicht, sondern nur das darüber befindliche Acetylengas. Sättigt man das Aceton jedoch unter einem Drucke von 20 *kg* mit Acetylen, so explodiert auch die Flüssigkeit, wobei ein Explosionsdruck von 5000 *kg* entsteht.

Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich aus folgender Betrachtung:

Die Zerlegung von 1 Grammolekül Aceton
($C_3H_6O = 58\ g$) erfordert . . . . — 39·0 cal.,
jene des Acetylens ($C_2H_2 = 26\ g$) entwickelt . . . . 51·4 „
Ein Gemenge gleicher Moleküle entwickelt somit . . 12·4 cal.,

und diese Wärmemenge ist noch nicht hinreichend, um die Explosion des Gemenges zu bewirken. Vergrößert man jedoch die Acetylenmenge, so entwickelt die Zersetzung immer mehr wachsende Wärmemengen. So liefert beispielsweise die Zersetzung von 2 Molen C_2H_2 und 1 Mol Aceton:

$$-39 + 2 \times 51{\cdot}4 = +63{\cdot}8 \text{ cal.}$$

Die Zersetzung der Acetyl-Acetonlösung kann übrigens durch die Gegenwart nicht einwirkender poröser Körper (ähnlich wie bei Nitrobenzol oder Dynamit*) gänzlich verhindert werden.

Das Acetylen besitzt von allen brennbaren Gasen das größte Leuchtvermögen, weil es:

1. leicht Kohlenstoff abscheidet und
2. bei seiner Verbrennung bedeutende Wärmemengen entwickelt, also eine hohe Verbrennungstemperatur gibt, so daß die ausgeschiedene Kohle sehr intensiv glüht.

Zufolge des hohen Kohlenstoffgehaltes rußt die Acetylenflamme freilich sehr leicht, weshalb man durch besondere Brennerkonstruktionen für eine vollständige Verbrennung sorgen muß. Zu diesem Zwecke müssen die Brenner sehr enge Öffnungen besitzen und das Gas muß unter genügend starkem Drucke (30—50 *mm* im Schnittbrenner, 100 *mm* im Zweilochbrenner) austreten. Welche Lichtstärken man unter Berücksichtigung dieser Umstände erzielen kann, zeigt folgende Zusammenstellung:

Brenner	Gasverbrauch pro 1 Stunde in Litern	Leuchtkraft in Carcel	Liter C_2H_2 pro Carcel
Einlochbrenner	8	0·8	10
Zweilochbrenner	12	1·5	8
Schmetterlingsbrenner . . .	35	5·2	6
„ . . .	67	12·5	5·5
„ . . .	92	18·9	5

*) Siehe Technologie der Energien, II.

Die Leuchtkraft der Acetylenflamme wächst also mit der Größe der verwendeten Brenner. Man kann aber auch Auerbrenner für Acetylengas verwenden und erhält dann für 100 Stundenliter Gaskonsum 50 Carcel Lichtstärke (also 2 *l* pro Carcel). Für einen Acetylen-Bunsenbrenner genügt ein Druck von 150 *mm* Wassersäule.

Gewöhnlich benützt man für die Acetylenbeleuchtung Zweilochbrenner mit 0·1 bis 0·3 *mm* weiter Bohrung. Bei der Enge derselben können sie sich leicht verstopfen, und zwar:

1. mit Kohle; dies läßt sich durch genügenden Luftzutritt verhindern, der eine vollständige Verbrennung sichert.

2. Da das Calciumcarbid geringe Mengen Phosphorcalcium enthält, ist in 1 m^3 Acetylen 0·5 bis 2 *g* Phosphorwasserstoff enthalten, das bei seiner Verbrennung glasige Phosphorsäure gibt, welche die Öffnungen verstopft und bei Gegenwart von Feuchtigkeit das Metall angreift.

Das Calciumcarbid, welches heute als Ausgangspunkt für die Acetylenbereitung dient, wird durch Einwirkung von Kohle auf Kalk bei hoher Temperatur erhalten:

$$CaO + 3\,C = CaC_2 + CO.$$

Zur Erzeugung der benötigten hohen Temperaturen dient gewöhnlich elektrische Energie, die in Wärme umgewandelt wird. 1 *kg* reines Calciumcarbid gibt 340 *l* Acetylen, doch erhält man aus dem Handelsprodukte selten mehr als 300 *l*.

Behandelt man Calciumcarbid mit Wasser, so findet eine lebhafte Acetylenentwicklung statt. Zu diesem Zwecke taucht man das Carbid gewöhnlich in eine so große Wassermenge, daß keine bedeutende Temperaturerhöhung eintritt. Andernfalls polymerisiert sich das Acetylen bei Gegenwart von Kalk und 100° C unter Bildung eines gelben teerartigen Körpers, während bei noch höheren Temperaturen Explosionsgefahr eintritt.

Mit Zuckerwasser verläuft die Reaktion viel langsamer.

Eine sehr regelmäßige Gasentwicklung erhält man mit einem Gemenge von

Wasser	68%
Glycerin	16%
Alkohol	16%

Die bei der Acetylengasbeleuchtung vorkommenden Unglücksfälle sind gewöhnlich auf Unvorsichtigkeiten bei der Erzeugung zurückzuführen, da das Gas meist von den Konsumenten selbst dargestellt wird. Hiebei ist auch noch der Umstand zu berücksichtigen, daß die Dichte des Acetylens fast ebenso groß ist wie jene der Luft,

daß also in der Nähe der Apparate leicht ein explosibles Gasgemenge entstehen kann.

Karburiertes Gas.

Schon früher wurde gelegentlich der Albokarbonlampe erwähnt, daß man die Leuchtkraft des Gases durch Dämpfe von Kohlenwasserstoffen erhöhen kann. Bei der Albokarbonlampe dient als Karburationsmittel Naphtalin, doch kann man zu gleichem Zwecke auch leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (flüchtige Bestandteile des Rohpetroleum, Benzin, Benzol, etc.) benützen.

Auf diese Weise kann man nicht allein die Leuchtkraft von gewöhnlichem Leuchtgas erhöhen, also billigere Kohlensorten zur Leuchtgasfabrikation verwenden, sondern auch nicht leuchtende, ja sogar nicht brennbare Gase zur Beleuchtung benützen.

Hieher gehört in allererster Linie das karburierte Wassergas, das im vorigen Kapitel eingehend besprochen wurde. Man ist aber noch weiter gegangen und hat gewöhnliche Luft karburiert, d. h. durch leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (Hydrür, Gasolin, Ligroin, Benzin, etc.) geleitet, wobei es sich mit den Dämpfen dieser Körper sättigt. Für diesen Zweck wurden zahlreiche Apparate konstruiert, doch kann man sich im Notfalle leicht selbst einen solchen herstellen. Die so erhaltene karburierte Luft kann nicht allein zur Beleuchtung, sondern auch für Laboratoriumszwecke zum Speisen von Bunsenbrennern, etc. dienen.

Daß man das Steinkohlenleuchtgas auch mit (karburiertem) Wassergas gemischt in Verwendung bringt, wurde schon früher erwähnt. Es geschieht dies hauptsächlich dann, wenn es sich um die Vergrößerung einer schon bestehenden Gasanstalt handelt, weil sowohl das Raumerfordernis als die Anlage- und Betriebskosten einer Wassergasanlage weit kleiner sind als die einer Steinkohlengasanlage.

In ähnlicher Weise könnte man auch eine Erhöhung der Leuchtkraft des Steinkohlengases durch Beimischen von Acetylen erreichen oder, mit anderen Worten, das Leuchtgas mit Acetylen karburieren. Tatsächlich bewirkt ein Zusatz von 11·2 Volumprozent Acetylen die Aufbesserung der Leuchtkraft einer Schnittbrennerflamme von 16 auf 56 Normalkerzen, doch stellt sich der Preis des Gemisches heute noch zu hoch. In dieser Beziehung sind die Untersuchungen von W. Wedding von besonderem Interesse, welche für Leuchtgas-Acetylenmischungen in Braybrennern ergaben:

Stündlich verbraucht, Liter		Hefnerlicht (1 Hefnerlicht = 0·808 deutsche Vereins-Paraffinkerzen)	Gas für ein Hefnerlicht	Acetylengehalt %
Leuchtgas	Acetylen			
393·5	0	25·6	15·4	0·00
401·2	0·04?	26·8	15·0	0·1 (?)
391·4	2·7	30·2	13·1	0·53
389·6	4·65	34·2	11·5	1·18
381·4	10·33	44·7	8·76	2·64
360·6	17·9	55·6	6·81	4·73
366·9	21·7	64·0	6·08	5·60
370·6	29·4	72·0	5·56	7·34
360·6	45·8	94·5	4·30	11·29
352·1	62·7	109·6	3·78	15·15
343·3	70·5	123·8	3·34	17·05
327·9	87·9	135·9	3·06	21·15

Danach stellen sich die Kosten zur Erzeugung von einem Hefnerlicht:

Acetylengehalt in Prozenten des Gemisches	wenn 1 *l* Acetylen kostet			
	0·517 Pf.	0·316 Pf.	0·050 Pf.	0·027 Pf.
	1 *l* Leuchtgas = 0·016 Pf.			
0·00	0·246	0·246	0·246	0·246
0·10	0·248	0·245	0·241	0·240
0·53	0·243	0·229	0·211	0·209
1·18	0·256	0·225	0·189	0·186
2·64	0·257	0·209	0·148	0·143
4·73	0·272	0·206	0·120	0·113
5·60	0·268	0·199	0·109	0·101
7·34	0·293	0·211	0·103	0·094
11·29	0·312	0·215	0·086	0·074
15·15	0·347	0·252	0·080	0·067
17·05	0·339	0·225	0·073	0 060
21·15	0·372	0·243	0·071	0·056
Regenerativlampe .	0·326	0·199	0·032	0·017

ANHANG.

Vergleichsdaten für verschiedene Lichtquellen.

I. Entwickelte Wärmemengen und Sauerstoffverbrauch verschiedener Beleuchtungsmittel pro 1000 Kerzen und Stunde.

Art der Beleuchtung	Wärme in Cal.	Sauerstoffverbrauch, m^3
Stearinkerzenlicht	89·800	19·7
Steinkohlengas, offen	45·500	11·1
Petroleumlicht	44·184	9·7
Luftgas, offen	36·297	8·1
Wassergas, karburiert	31·838	6·7
Ölgas, offen	29·117	6·5
Steinkohlengas, Auerlicht	10·500	2·6
Acetylen	8·400	1·8
Luftgas, Auerlicht	8·174	1·83
Ölgas, Auerlicht	6·121	1·35
Wassergas, nicht karburiert, Auerlicht	4·250	0·8

II. Verbrennungsprodukte von verschiedenen Beleuchtungsmitteln pro 1000 Kerzen und Stunde.

Art der Beleuchtung	Wasserdampf m^3	Kohlensäure m^3	Stickstoff m^3
Stearinkerzenlicht	13·0	13·2	78·8
Steinkohlengas, offen	11·6	4·82	44·4
Petroleumlicht	7·2	6·12	32·0
Luftgas, offen	5·9	5·06	32·5
Ölgas, offen	5·8	3·6	24·0
Wassergas, karburiert	5·8	0·86	25·3
Steinkohlengas, Auerlicht	2·7	1·0	10·4
Acetylen	0·7	2·0	7·2
Luftgas, Auerlicht	1·3	1·14	7·3
Ölgas, Auerlicht	1·2	0·75	5·04
Wassergas, nicht karburiert, Auerlicht	0·85	0·66	3·1

III. Kohlenverbrauch bei verschiedenen Beleuchtungsarten pro 100 Kerzen und Stunde.

Art der Beleuchtung	Gramm Kohle
Steinkohlengaslicht, offen	3000
Acetylenlicht	2300
Elektrisches Glühlicht	1100
Steinkohlengas, Auerlicht	700
Elektrisches Bogenlicht	300
Wassergas, nicht karburiert, Auerlicht	85

IV. Vergleichung verschiedener Lichtquellen nach Lüpke:

Leuchtstoff und Lampe	Lichtstärke der Flamme in N.-K.	Konsum des Leuchtstoffes pro Stunde	Für 100 Normalkerzen-Stunden				N.-K.-Stunden für 1 M.
			Konsum	Preis Pf.	Calorien	m³ CO_2	
Stearinkerze	1	0·0092 *kg*	0·920 *kg*	130·00	8100	1·484	77
Wachskerze	1	0·0077 „	0·770 „	300·00	7890	1·751	33
Rüböllampe	4	0·0280 „	0·700 „	67·00	6160	?	150
Petroleum in 14linigem Kosmosbrenner	12	0·049 *l*	0·400 *l*	12·00	2960	0·806	833
Petroleum im Prometheusbrenner mit Metallscheibe	29	0·105 „	0·361 „	10·83	2770	0·722	923
Petroleum in der Millionlampe	80	0·120 „	0·150 „	4·50	1110	0·300	2222
Petroleum in der Schülke'schen Petroleum-Gaslampe	140	0·207 „	0·148 „	4·44	1095	0·296	2250
Petroleum in der Dürr'schen Petroleum-Dampflampe	3500	3·500 „	0·100 „	3·00	739	0·200	3333
Leuchtgas im Schnittbrenner	16	160	1000 „	16·00	5400	0·654	625
Leuchtgas im Argandbrenner	20	180	900 „	14·40	4860	0·588	695
Leuchtgas im Auerlichtbrenner	57	112	192 „	4·34	1040	0·125	2300
Leuchtgas im großen Invertbrenner	222	732	330 „	5·33	1800	0·218	1890
Ölgas im Pintsch'schen Brenner	60	150	250 „	6·00	?	?	1660
Wassergas im Fahnehjelmbrenner	31	198	640 „	4·20	2167	0·360	2380
Wassergas im Auerlichtbrenner	70	210	300 „	2·30	1015	0·169	4350
Wassergas (kalt), karburiert m. Benzol im Schnittbrenner	16·5	198	1200 „	6·00	16610	2·498	1666
Acetylen in der Reginalampe	30	21·42 *l*	71 „	10·33	985	0·150	970
Acetylen u. Leuchtgas im Schnittbrenner	56	46 + 361 *l*	82 + 698 *l*	23·00	4900	0·616	435
Acetylen und Luft im Schnittbrenner	46	42·5 + 47·4 *l*	96 + 103 „	13·96	1328	0·200	716
Elektrisches Glühlicht	16	48—56 Wattstunden	300—350 Wattstunden	21—24·5	?	—	440
Elektrisches Bogenlicht	1200	768 Wattstunden	64 Wattstunden	4·48	?	—	2232

II. Teil.

Die chemische Technologie der elektrischen Energie.

Galvanische Elemente und Akkumulatoren.

Während wir über die Natur der kalorischen Energie (Wärme) durch die — allerdings hypothetischen — kinetischen Anschauungen über jene der strahlenden Energie durch die sogenannte Undulationstheorie bestimmte Vorstellungen entwickelt haben, fehlen uns solche für die elektrische Energie noch gänzlich.

Die chemische Technologie der elektrischen Energie hat sich nun mit der Umwandlung von chemischer Energie in elektrische und umgekehrt von elektrischer in chemische Energie zu befassen, umfaßt also, strenggenommen, ausschließlich das Gebiet der Elektrochemie in ihrer technischen Anwendung, d. i. die galvanischen Elemente und Akkumulatoren, sowie die technische Elektrolyse.

Da aber diese gegenseitige Umwandlung von chemischer und elektrischer Energie nur in den seltensten Fällen glatt vor sich geht, indem neben diesen beiden meist noch andere Energieformen auftreten, wird es nötig sein, auch auf diese Erscheinungen einzugehen und so das zu besprechende Gebiet wesentlich zu erweitern.

Hiebei wird sich Gelegenheit bieten, einzelnes ausführlicher zu besprechen, als dies früher der Fall war (elektrische Öfen), um das Gesamtbild, das vorliegendes Buch geben soll, zu vervollständigen.

Da aber einerseits die elektrolytischen (und elektrothermischen) Prozesse logischer Weise in das Gebiet der chemischen Technologie der Stoffe gehören, also dort eine eingehende Besprechung erfahren müssen, anderseits die galvanischen Elemente und Akkumulatoren nur eine verhältnismäßig beschränkte Rolle in der chemischen Technik spielen, wird ein detailliertes Eingehen auf dieselben hier um so mehr entbehrlich sein, als dies eine sehr bedeutende Vergrößerung des Umfanges vorliegenden Lehrbuches bedingen würde, die durch die technische Bedeutung des behandelten Stoffes kaum gerechtfertigt wäre.

Wir wollen uns daher im folgenden hauptsächlich auf eine gedrängte Übersicht der Gesetze beschränken, welche hier in Frage kommen, und die chemischen Elektrizitätsgeneratoren (Elemente und Akkumulatoren) sowie die Elektrolyse mehr von einem allgemeinen Gesichtspunkte aus betrachten.

I. Kapitel.

Elektrische Größen und Einheiten.

An jedem elektrischen Strome lassen sich unterscheiden:

a) die elektromotorische Kraft oder Potentialdifferenz, E,

b) die Stromstärke oder Intensität, I, und

c) der Widerstand, R.

Die Beziehungen zwischen diesen drei Größen hängen von der Art des Leiters ab.

Hienach teilt man die Leiter in zwei Gruppen:

1. Leiter I. Klasse oder metallische Leiter und
2. die Elektrolyten und Dielektrika oder Leiter der I. Klasse.

1. Leiter der I. Klasse oder metallische Leiter:

Ein durch einen metallischen Leiter fließender Strom wandelt sich in Wärme um, wodurch die Temperatur des Leiters erhöht wird. Die auf diese Weise in einer bestimmten Zeit entwickelte Wärme hängt nur von der Stromstärke ab.

Wie schon erwähnt, bewirkt die Umwandlung der elektrischen Energie in thermische innerhalb eines Leiters der I. Klasse eine Temperaturerhöhung desselben, die dadurch begrenzt wird, daß der Leiter zufolge seiner so über jene der Umgebung steigende Temperatur durch Leitung und Strahlung Wärme nach außen abgibt. Bei andauerndem Stromdurchgange, also ununterbrochener Wärmeentwicklung, wird sich daher schließlich zwischen dieser und der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung ein Gleichgewicht einstellen müssen, d. h. die Temperatur des Leiters wird ein Maximum erreichen, das konstant bleibt, solange die physikalische Beschaffenheit des umgebenden Mittels sowie der den Leiter passierende elektrische Strom unverändert bleiben.

Von diesem Augenblicke angefangen*) gilt das Ohm'sche Gesetz:

$$E = R . J.$$

Die kalorische Arbeit des Stromes (A_k), d. i. die Wärmemenge, welche er in dem Leiter erzeugt, wird durch das Joule'sche Gesetz ausgedrückt, welches lautet:

$$A_k = K . E . J . \Theta$$
$$= K . R . J^2 . \Theta.$$

*) Weil der Widerstand des Leiters von seiner Temperatur abhängt, also erst dann konstant bleibt, wenn dies auch bei der Temperatur der Fall ist.

In diesen Gleichungen bedeutet Θ die Zeit, während welcher der Strom durch den Leiter fließt, in Sekunden, während K einen Koeffizienten darstellt, dessen Wert bei Benützung praktischer Einheiten (E = Volt, R = Ohm, J = Ampère), und wenn die kalorische Arbeit in kleinen Kalorien ausgedrückt werden soll, = 0·2387 zu setzen ist.

In diese Gruppe von Leitern gehören die Metalle und einige feste Körper, wie Kohle, die unter starkem Druck komprimiert und bei hoher Temperatur gebrannt wurde (Elektrodenkohle), natürliche oder gegossene metallische Sulfide, Bleisuperoxyd und Mangansuperoxyd.

Auch gewisse geschmolzene chemische Verbindungen, die eigentlich zu den Leitern der II. Klasse gehören, verhalten sich gegen Ströme von geringer Intensität wie Leiter der I. Klasse, so daß man bei ihnen unter diesen Umständen das Ohm'sche Gesetz anwenden kann.

Der Leitungswiderstand der Metalle wächst mit der Temperatur. Jener von Kohle, Sulfiden, geschmolzenen Verbindungen und im allgemeinen von Körpern mit geringem Leitungsvermögen verringert sich hingegen mit steigender Temperatur.

Die Leiter der I. Klasse sowie solche der II. Klasse, solange sie sich wie erstere verhalten, erleiden durch den Stromdurchgang keine Molekularveränderung, wenn die Stromstärke genügend klein oder die Abkühlung hinreichend groß ist, um zu verhindern, daß der fragliche Leiter eine gewisse Temperatur überschreite.*) Andernfalls können physikalische oder chemische Zustandsänderungen, wie Schmelzung, Verdampfung, Polarisation, etc., eintreten. Während der ganzen Dauer dieser Umwandlungen gilt jedoch — trotzdem die Temperatur konstant bleibt — weder das Ohm'sche noch das Joule'sche Gesetz.

Wenn hiebei der Leiter sein Volum nicht ändert, was selbst im Falle der Verdampfung wenigstens theoretisch möglich ist, so nehmen die obigen Gleichungen die folgende Gestalt an:

Ohm'sches Gesetz:

$$E = (e \pm e_1) + R_1 . J;$$

Kalorische Arbeit:

$$A_k = K . E . J . \Theta;$$
$$= K . \Theta \left[(e \pm e_1) J + R_1 . J^2 \right].$$

In diesen Gleichungen stellen e und e_1 elektromotorische Gegenkräfte dar, die von den Zustandsänderungen abhängen, welche der Leiter unter dem Einflusse des Stromes erleidet.

*) Es handelt sich hier offenbar um eine Umwandlungstemperatur, ober welcher der Leiter erst die Eigenschaft jener der II. Klasse annimmt.

2. Elektrolyten und Dielektrika oder die Leiter der II. Klasse.

Elektrolyten sowohl als Dielektrika sind Körper, die sich hauptsächlich dadurch von einander unterscheiden, daß letztere keine nennenswerte Leitfähigkeit besitzen (Isolatoren), während erstere den Strom zwar leiten, sich hiebei aber zersetzen.

a) Dielektrika spielen eine bedeutende Rolle bei der Verteilung der Elektrizität durch Influenz. Hieher gehören die Gase und manche feste Stoffe, wie Glas, Kautschuk, Schellack, etc., indem sie den Elektrizitätsausgleich zwischen zwei mit entgegengesetzter Elektrizität geladenen Körpern (Kondensatoren), zwischen denen sie sich befinden, verhindern. Der Ausgleich tritt erst dann ein, wenn die elektrische Ladung beider Körper so groß geworden ist, daß sie den vom Dielektrikum gebotenen Widerstand zu überwinden vermag.

Das Verhältnis zwischen der Kapazität dieser Kondensatoren, wenn sich, bei gleichbleibender Entfernung derselben, zwischen ihnen ein Dielektrikum befindet, zu jener, welche einer Trennung derselben durch ein Vakuum entspricht, hat man als Dielektrizitätskonstante bezeichnet. Die Größe derselben ist beispielsweise:

für Paraffin	2·3
„ Kautschuk	2·9
„ Ebonit	2·6
„ Schwefel	3·9
„ Glimmer	8·0
„ Glas	6—10
„ Öle	2— 5
„ Gase	1

Die Isolatoren spielen daher eine wesentliche Rolle bei der Verteilung der Elektrizität.

Auf Grund dieser Tatsache hat Maxwell seine Theorie der Elektrizität aufgebaut, nach welcher der Sitz der elektrischen Erscheinungen nicht in den Leitern, sondern in den Isolatoren zu suchen ist. Nur die Isolatoren können elektrisch erregt werden, während sie anderseits den elektrischen Fernwirkungen den Durchgang gestatten. An der Oberfläche eines Leiters tritt nur deshalb Elektrizität auf, weil sie von einem Isolator begrenzt ist, der den eigentlichen Sitz der Elektrizität darstellt.

Da sich nun die Elektrizität gerade durch die Isolatoren mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzt, schließt Maxwell, daß zwar möglicherweise die Moleküle des Isolators die Träger der

elektrischen Erscheinungen sein können, daß aber die Übertragung dieser Erscheinungen von einem Molekül zum anderen durch Schwingungen des Lichtäthers erfolge.

Derartige Schwingungen wurden zuerst von H. Hertz in Karlsruhe (Hertz'sche Wellen) nachgewiesen und es ergab sich, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser elektrischen Wellen (300 000 *km* in der Sekunde) ebenso groß ist, wie jene des Lichtes. Ja wir können noch weiter gehen und beide Arten von Wellen miteinander identifizieren.*) Ätherwellen, die auf unseren Sehnerv wirken, also Lichtwellen in strengem Sinne darstellen, haben Wellenlängen von 4 bis $7\frac{1}{2}$ Zehntausendstel eines Millimeters. Längere Wellen, bis 15 oder 20 Tausendstel eines Millimeters, wirken noch erwärmend, während Ätherwellen von bedeutender Länge (einige Zentimeter, ja selbst Meter) elektrische Wirkungen äußern.

Die Fortpflanzung der Elektrizität durch Isolatoren erfolgt also mittels transversaler Ätherschwingungen, die wir als elektrische Wellen bezeichnen, und man kann somit, ebenso wie von Lichtstrahlen, auch von elektrischen Strahlen sprechen.

Apparate, welche solche elektrische Wellen zu erzeugen vermögen, nennt man Radiatoren. Läßt man einen von einem solchen ausgesendeten elektrischen Strahl auf eine Schicht gepulverten Metalles fallen, die zufolge ihrer lockeren Lagerung einen sehr großen Leitungswiderstand darbietet und durch welche ein Strom fließt, so tritt in derselben Influenzelektrizität auf; die Metallteilchen reihen sich aneinander und der Widerstand wird plötzlich ein sehr kleiner, so daß der Strom leicht hindurchgeht und ein in den Stromkreis geschaltetes Galvanometer plötzlich einen starken Ausschlag zeigt. Ein derartiger Apparat heißt Kohärer.

Stellt man nun zwischen den Strahl und den Kohärer einen Metallschirm, so hört letzterer sofort auf zu funktionieren, was nicht der Fall ist, wenn man einen Schirm aus Glas, Paraffin, Schwefel oder Holz, etc. verwendet. Während also die elektrischen Wellen durch Isolatoren hindurchgehen, können sie Metalle nicht passieren. Beim Eintritte in einen Isolator erleiden diese Strahlen ganz ebenso wie die Lichtstrahlen in einem durchsichtigen Medium eine Brechung, während sie von Metallflächen reflektiert werden.

Da nun die elektrischen, sowie die Lichtstrahlen nichts anderes sind, als Schwingungen des Äthers und da der sogenannte Brechungsindex eines Körpers mit der Quadratwurzel aus der Dichte des Äthers in dem betreffenden Körper wächst, während

*) Siehe pag. 4.

nach Maxwell die Dichte des Lichtäthers gleich der Dielektrizitätskonstanten des betreffenden Körpers ist, muß die Dielektrizitätskonstante eines Körpers gleich dem Quadrate des optischen Brechungsindex sein. Dies ist auch tatsächlich der Fall, wie folgende Tabelle zeigt.

Stoffe	Dielektrizitätskonstante	Quadrat des Brechungsindex
Schwefel	3·97	3·89
Paraffin	1·99	2·01
Schweres Flintglas . . .	3·16	3·05
Petroleum	2·07	2·07
Terpentinöl	2·23	2·13

Elektrolyten, deren Leitfähigkeit mit der Temperatur wächst, sind chemische Verbindungen (Säuren, Basen oder Salze) im gelösten oder geschmolzenen Zustande, d. h. unter physikalischen Bedingungen, welche den Bestandteilen bezw. Zersetzungsprodukten des Elektrolyten gestatten, sich unter dem Einflusse eines dieselben passierenden elektrischen Stromes zu bewegen.

Jene Bestandteile derselben, welche sich gegen die positive Elektrode (Anode) hin bewegen, heißen elektronegative oder Anionen, jene, welche sich gegen die negative Elektrode (Kathode) bewegen, nennt man elektropositive oder Kathionen.

Beide Arten dieser Bestandteile der Elektrolyten zusammen werden mit dem gemeinsamen Namen Ionen bezeichnet.

Die Ausdrücke, welche die gegenseitigen Beziehungen zwischen den elektrischen Fundamentalgrößen in einem Elektrolyten darstellen, sind dieselben wie für die Leiter der I. Klasse, wenn in letzteren physikalische Zustandsänderungen auftreten. Nun beziehen sich die elektromotorischen Gegenkräfte in diesem Falle auf die chemische Arbeit, die im Elekrolyten geleistet wird, wobei es jedoch nicht ausgeschlossen erscheint, daß neben den chemischen auch physikalische Veränderungen im Elektrolyten Platz greifen, die dann natürlich gleichfalls elektromotorische Gegenkräfte hervorrufen.

Alle diese Gleichungen gelten für Gleichstrom.

Zu den Dielektrika zählen auch nicht metallische Flüssigkeiten, die nicht als Elektrolyten funktionieren, wie reines Wasser, Schwefelkohlenstoff, Alkohol, Hydrocarbür, Therebene, etc., und viele feste Körper, wie Metalloxyde, Quarz, Gips, Bergkristall, Glas, Schwefel, Ebonit, Glimmer, etc.

Die Maßeinheiten für die elektrischen Fundamentalgrößen sind dem C.-, G.-, S.- (Centimeter-, Gramm-, Sekunden-) Systeme ent-

nommen; sie sind verschieden, je nachdem es sich um statische oder um dynamische elektrische Systeme handelt. Zu allgemeinen Ausdrücken für diese Größen gelangt man, wenn man die Masse mit M, die Länge mit L und die Zeit mit T bezeichnet.

Außer den drei Fundamentalgrößen: elektromotorische Kraft, Intensität und Widerstand, gibt es noch einige andere elektrische Größen, die in engem Zusammenhange mit den vorigen stehen und daher als abgeleitete bezeichnet werden können.

Wir wollen dieselben der Reihe nach besprechen.

Widerstand hat im dynamischen Systeme die Dimension einer Geschwindigkeit $[R_d] = [L . T^{-1}] = \left[\frac{L}{T}\right]$, im statischen Systeme aber jene einer reziproken Geschwindigkeit $[R_s] = [L^{-1} . T] = \left[\frac{T}{L}\right]$.

Als praktische Widerstandseinheit gilt das Ohm, d. i. der Widerstand einer Quecksilbersäule von 106·3 *cm* Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 0^0 C.*)

Spezifischer Leitungswiderstand, ρ ist der Widerstand, den ein Prisma oder Zylinder von 1 *cm* Länge und 1 cm^2 Querschnitt dem Strome darbietet. Ist R der Widerstand eines Leiters in Ohm, ρ sein spezifischer Widerstand, l seine Länge in Centimetern und s sein Querschnitt in Quadratcentimetern, so ist

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

oder

$$\rho = R \frac{s}{l}.$$

Für $s = 1$ und $l = 1$ wird $R = \rho$.

Leitfähigkeit ist der reziproke Wert des Widerstandes. Bezeichnen wir dieselbe mit C, so ist

$$C = \frac{1}{R};$$

ihre Einheit ist $\frac{1}{\text{ohm}}$.

Spezifische Leitfähigkeit ist die Leitungsfähigkeit eines Leiters von 1 *cm* Länge und 1 cm^2 Querschnitt:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}.$$

*) Diese Quecksilbermenge wiegt 14·4521 *g*.

$$1 \text{ Ohm} = 10^9 \frac{cm}{sec} \text{ (im dynamischen Systeme)}$$

$$= \frac{1}{9 \times 10^{11}} \frac{sec}{cm} \text{ (im statischen Systeme).}$$

Durch Verbindung dieses Ausdruckes mit dem vorigen erhält man

$$C = \gamma \frac{s}{l}$$

nud

$$\gamma = C \frac{l}{s},$$

oder für $s = 1$ und $l = 1$, also $C = \gamma$.

Molekulare Leitfähigkeit, μ. — Diese Größe wurde eingeführt, um Elektrolyten untereinander in Bezug auf ihr Leitungsvermögen vergleichen zu können.

Mißt man die Leitfähigkeit einer elektrolytischen Lösung mittels zweier parallelen Elektroden, die 1 *cm* voneinander abstehen und gleiche Oberflächen von solchen Dimensionen besitzen, daß die Flüssigkeit zwischen beiden genau 1 Mol des betrachteten Elektrolyten enthält, so gibt die so gefundene Zahl das molekulare Leitvermögen μ. Unter diesen Umständen ist die Fläche jeder der beiden Elektroden, in Quadratcentimetern gemessen, ebenso groß wie das zwischen beiden Elektroden befindliche Flüssigkeitsvolum in Kubikcentimetern gemessen. Man kann daher das molekulare Leitvermögen auch als Funktion der spezifischen Leitungsfähigkeit darstellen:

$$\mu = \gamma . s.$$

Dasselbe gilt auch für den molekularen Leitungswiderstand λ:

$$\lambda = \frac{1}{\mu} = \frac{\rho}{s}.$$

Intensität (Stromstärke). Diese Größe hat im dynamischen Maßsystem die Dimension

$$[J_d] = \left[M^{\frac{1}{2}} . L^{\frac{1}{2}} . T^{-1}\right] = \left[\frac{\sqrt{M . L}}{T}\right],$$

im statischen aber die Dimension

$$[J_s] = \left[M^{\frac{1}{2}} . L^{\frac{3}{2}} T^{-2}\right] = \left[\frac{\sqrt{ML^2}}{T^2}\right] = \left[\frac{L}{T}\sqrt{M}\right].$$

Als praktische Einheit gilt das Ampère $= \frac{1}{10} . \frac{\sqrt{g . cm}}{sec}$ (im dynamischen) oder $= 3 \times 10^9 \frac{\sqrt{g . cm^2}}{sec^2} = 3 \times 10^9 . \frac{cm}{sec^2} \sqrt{g}$.

Das Ampère wird in praktisch genügend genauer Weise durch einen konstanten Strom dargestellt, der beim Passieren einer wässerigen Silbernitratlösung 0·001118 *g* Silber pro Sekunde niederschlägt.

Diese Zahl wird auch als elektrochemisches Äquivalent*) des Silbers bezeichnet. Umgekehrt versteht man unter chemischem Äquivalent der Elektrizität, Eq, jene Elektrizitätsmenge, welche 1 *g*-Atom Metall (107·93 *g* Silber) niederzuschlagen vermag:

$$\mathrm{Eq} = \frac{107{\cdot}93}{0{\cdot}001118}$$
$$= 96540 \text{ Ampère-Sekunden.}$$

Elektrizitätsmenge. Sie hat im dynamischen Maße die Dimension $\left[M^{\frac{1}{2}}.\,L^{\frac{1}{2}}\right] = [\sqrt{M.L}]$, während sie im statischen Systeme als $\left[M^{\frac{1}{2}}\,L^{\frac{3}{2}}\,T^{-1}\right] = \left[\frac{\sqrt{M.L^3}}{T}\right]$ dimensioniert ist.

Als praktische Einheit gilt das Coulomb, d. i. jene Elektrizitätsmenge, welche ein Strom von 1 Ampère in einer Sekunde durch den Leiterquerschnitt führt. Wir haben daher

$$1 \text{ Coulomb} = \frac{\sqrt{g\,.\,cm}}{10} \text{ (im dynamischen Maße)}$$
$$= 3 \times 10^9.\,\sqrt{g.cm^3}.$$

Stromdichte. — Man unterscheidet zwei Arten derselben, die Leitungsdichte, D_c, d. i. die Intensität des durch 1 cm^2 Leiterquerschnitt fließenden Stromes, und die Übergangsdichte, D_e, d. i. die Intensität des Stromes, der pro 1 cm^2 der Berührungsfläche zweier Leiter, oder spezieller pro 1 cm^2 Elektrodenfläche aus der Elektrode in den Elektrolyten oder im entgegengesetzten Sinne fließt.

Elektromotorische Kraft. Sie hat im dynamischen Systeme die Dimension $[E_d] = \left[M^{\frac{1}{2}}.\,L^{\frac{3}{2}}.\,T^{-2}\right] = \left[\frac{\sqrt{M.L^3}}{T^2}\right]$, im statischen Systeme hingegen $[E_s] = \left[M^{\frac{1}{2}}.\,L^{\frac{1}{2}}.\,T^{-1}\right] = \left[\frac{\sqrt{ML}}{T}\right]$.

Als praktische Einheit gilt das Volt $= 10^8 \,.\, \frac{g^{1/2}\,cm^{3/2}}{\sec^2}$ im dynamischen Systeme, oder $= \frac{1}{3 \times 10^2} \cdot \frac{g^{1/2}\,cm^{1/2}}{T}$.

*) Siehe später.

Es ist jene elektromotorische Kraft, welche — wenn sie konstant wirkt — in einem Leiter von 1 Ohm Widerstand einen Strom von 1 Ampère hervorruft. Es wird mit hinreichender Genauigkeit durch $\frac{1000}{1434}$ der elektromotorischen Kraft des Clark'schen Normalelementes dargestellt und ergibt sich auch einfach aus dem Ohmschen Gesetze:

$$\text{Volt} = \text{Ohm} \times \text{Ampère}.$$

Elektrische Leistung. Ihre Dimensionen sind $[M.L^2.T^{-3}] = \left[\frac{M.L^2}{T^3}\right]$ im dynamischen und im statischen Systeme. Die praktische Einheit ist das Watt $= 10^7 . \frac{g.cm^2}{\sec^3} = 1$ Volt Ampère und entspricht der Leistung von 1 Joule in der Sekunde.

Ist E die elektromotorische Kraft eines Stromes und J seine Intensität, so ist

$$W = E.J.$$

In der Industrie bedient man sich einer 1000mal so großen Einheit, des Kilowatt, und es ist

$$KW = \frac{W}{1000} = \frac{E.J}{1000}.$$

Elektrische Arbeit. Ihre Dimension ist im dynamischen wie im statischen Systeme $= [M.L^2.T^{-2}]$. Als praktische Einheit dient das Joule = Wattsekunde = Volt-Coulomb. Es ist

$$\begin{aligned} 1\,j &= 10^7 \text{ Erg} \\ &= 0{\cdot}10193 \; mkg \\ &= 0{\cdot}2387 \text{ kleine Kalorien.} \\ 1\,J \text{ (Kilojoule)} &= 1000\,j. \end{aligned}$$

Man versteht darunter die Energiemenge, welche ein Strom von 1 Ampère beim Durchfließen eines Widerstandes von 1 Ohm pro Sekunde liefert.

In der Industrie wird die elektrische Arbeit je nach Umständen auf verschiedene Einheiten bezogen:

a) Elektrische Arbeit in Meterkilogramm:

$$A_r = \frac{E.J.\Theta}{g} = 0{\cdot}10193 \; E.J.\Theta \; mkg.$$

Für einen Leiter der I. Klasse ist dann:

$$A_r = \frac{R.J^2.\Theta}{g} = 0{\cdot}10193 \; R.J^2.\Theta \; mkg \text{ (Joule'sches Gesetz).}$$

b) Elektrische Arbeit in Pferdekräften:

$$SP = \frac{E.J.\Theta}{g.75} = \frac{E.J.\Theta}{735\cdot75} \text{ Sekunden-Pferde.}$$

Für England, wo die Pferdekraft = 76 *mkg* ist, gilt

$$H.P = \frac{E.J.\Theta}{g\,76} = \frac{E.J.\Theta}{745\cdot6} \text{ Sekunden-Pferde.}$$

Für große Arbeitsleistungen verwendet man eine 3600mal so große Einheit, die Stunden-Pferde:

$$S.P.h = \frac{S.P}{3600} \text{ Pferdestunden.}$$

c) Arbeit in großen bezw. kleinen Kalorien:

$$A_k = \frac{E.J.\Theta}{g.j} = 0\cdot2387\,E.J.\Theta \text{ kleine Kalorien.}$$

$$A_k = \frac{E.J.\Theta}{g.J} = \frac{0\cdot2387\,E.J.\Theta}{1000} \text{ große Kalorien.}$$

Vergleichung der elektrischen Arbeitseinheiten.

Gewöhnliche Pferdekraft	Englische Pferdekraft	Kilo-Watt-Stunden	Große Kalorien	Meter-Kilogramm
1	0·987	0·736	632	270000
1·013	1	0·642	641	273000
1·359	1·341	1	859	355000
1·582	1·561	1·163	1000	427000
3·799	3·655	2·725	2342	1000000

Ist H die Höhe einer Wassersäule, V das pro Sekunde gelieferte Wasserquantum, so kann dieselbe an Arbeit leisten

$$A_r = H.V \textit{ mkg} \quad \text{oder}$$

$$SP = \frac{H.V}{75} \text{ Pferdestärken.}$$

Die nutzbare mechanische Arbeit einer Turbine beträgt jedoch nur etwa 75% dieses Wertes.

Zum Schlusse dieses Kapitels mögen noch einige elektrisch Konstanten in Tabellenform mitgeteilt werden.

Elektrische Leitfähigkeit von Metallen.

(Reziproker Wert des in Ohm ausgedrückten Leitungswiderstandes eines Centimeterwürfels, für Quecksilber bei $0^0 = 1{\cdot}063 \times 10^4$).

Metall	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Aluminium	0	$32{\cdot}4 \times 10^4$	Benoit
„ chem. rein	0	$35{\cdot}6 \times 10^4$	Sturm
„ aus Neuhausen, 99% rein	— 183	$178{\cdot}6 \times 10^4$	Dewar u. Fleming
	— 78	$58{\cdot}7 \times 10^4$	
	0	$39{\cdot}0 \times 10^4$	
	92·2	$28{\cdot}3 \times 10^4$	
	191·5	$21{\cdot}6 \times 10^4$	
„ käuflich, 75·5% rein	— 202·5	$307{\cdot}9 \times 10^4$	
	0	$37{\cdot}5 \times 10^4$	
	193·3	$20{\cdot}4 \times 10^4$	
„ Draht, 0·5% Fe + + 0·4% Cu	18	$31{\cdot}2 \times 10^4$	Jaeger u. Diesselhorst
	100	$24{\cdot}2 \times 10^4$	
Blei, rein	0	$5{\cdot}04 \times 10^4$	Benoit
„ „	7	$5{\cdot}35 \times 10^4$	H. F. Weber
„ „	0	$5{\cdot}18 \times 10^4$	Bergmann
„ „	0—30	$5{\cdot}06 \times 10^4$	Berget
„ „	0	$5{\cdot}14 \times 10^4$	Lorenz
„ „	100	$3{\cdot}60 \times 10^4$	„
„ fest	Schmelzpkt.	$1{\cdot}98 \times 10^4$	De la Rive
„ flüssig	„	$1{\cdot}04 \times 10^4$	„ „ „
„ „	358	$1{\cdot}00 \times 10^4$	„ „ „
„ „	860	$0{\cdot}81 \times 10^4$	„ „ „
„ „	318	$1{\cdot}06 \times 10^4$	Vincentini und Omodei
„ kalt gepreßt	— 183	$16{\cdot}6 \times 10^4$	Dewar u. Fleming
„ „ „	— 78	$7{\cdot}11 \times 10^4$	
„ „ „	0	$4{\cdot}91 \times 10^4$	
„ „ „	90·4	$3{\cdot}57 \times 10^4$	
„ „ „	196·1	$2{\cdot}71 \times 10^4$	
„ Draht	18	$4{\cdot}80 \times 10^4$	Jaeger u. Diesselhorst
„ Stab	18	$4{\cdot}84 \times 10^4$	
„ Draht	100	$3{\cdot}61 \times 10^4$	
„ Stab	100	$3{\cdot}64 \times 10^4$	
Eisen	0	$10{\cdot}37 \times 10^4$	Lorenz
„	100	$6{\cdot}63 \times 10^4$	„
„ Stahl, geglüht	0	$9{\cdot}1 \times 10^4$	Benoit
„ „ „	0—30	$9{\cdot}41 \times 10^4$	Berget
„ „ glashart	0	$2{\cdot}19 \times 10^4$	Strouhal u. Barus
„ „ hellgelb angelassen	0	$3{\cdot}46 \times 10^4$	
„ „ blau „	0	$4{\cdot}88 \times 10^4$	
„ „ weich	0	$6{\cdot}30 \times 10^4$	
„ „ Klavierdraht	0	$8{\cdot}47 \times 10^4$	
„ Stabeisen	0	$8{\cdot}20 \times 10^4$	Strouhal u. Barus
„ Gußeisen, hart	0	$1{\cdot}02 \times 10^4$	
„ „ weich	0	$1{\cdot}34 \times 10^4$	
„ „ schmiedb., unbearb.	0	$4{\cdot}10 \times 10^4$	
„ „ hart	0	$3{\cdot}06 \times 10^4$	
„ „ weich	0	$4{\cdot}35 \times 10^4$	
„ Gußstahldraht	18	$5{\cdot}15 \times 10^4$	Deutsche Telegraphenverwaltung

Metall	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Eisen, Puddelstahl	15	7·11 × 10⁴	Kirchhoff und Hansemann
„ Bessemerstahl	15	4·31 × 10⁴	
„ Gußeisen	19·8	2·42 × 10⁴	Ihle
„ „	92·7	2·07 × 10⁴	„
„ sehr rein, weich, geglüht	— 205·3	153·4 × 10⁴	Dewar u. Fleming
„ „ „ „ „	— 78	18·80 × 10⁴	
„ „ „ „ „	0	11·30 × 10⁴	
„ „ „ „ „	98·5	5·62 × 10⁴	
„ „ „ „ „	196·1	4·65 × 10⁴	
„ 0·25% Mn + 0·01% S	— 183	42·70 × 10⁴	
„ 0·25% „ + 0·01% S	— 78	15·04 × 10⁴	
„ 0·25% „ + 0·01% S	0	9·51 × 10⁴	
„ 0·25% „ + 0·01% S	90·5	6·36 × 10⁴	
„ 0·25% „ + 0·01% S	197·3	4·30 × 10⁴	
„ 0·1% C	18	8·36 × 10⁴	Jaeger u. Diesselhorst
„ 0·1% C	100	5·95 × 10⁴	
„ 0·1% C + 0·2% Si + 0·1% Mn	18	7·17 × 10⁴	
„ 0·1% C + 0·2% Si + 0·1% Mn	100	5·31 × 10⁴	
„ Stahl, mit 1% C	18	5·02 × 10⁴	
„ „ „ 1% C	100	3·91 × 10⁴	
„ „ „ 25% Ni, magnetisch	20	1·92 × 10⁴	Hoppkinson
„ „ „ 25% Ni, nicht magnet.	20	1·39 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, magnetisch	15	0·78 × 10⁴	Le Chatelier
„ „ „ 13% Mn, magnetisch	300	0·51 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, magnetisch	500	0·43 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, magnetisch	1020	0·33 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, nicht magnetisch	15	0·61 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, nicht magnetisch	300	0·45 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, nicht magnetisch	500	0·39 × 10⁴	
„ „ „ 13% Mn, nicht magnetisch	1200	0·33 × 10⁴	
„ reines, Ferrit	—	10·53 × 10⁴	
„ Cementit, Fe_3C	—	2·22 × 10⁴	
„ völlig rein	16	13·1 × 10⁴	Benedicks
„ mit 5·5% Al	18	1·43 × 10⁴	Barrett
„ „ 5·5% Si	18	1·54 × 10⁴	
„ „ 5·5% Mn	18	2·53 × 10⁴	
„ „ 5·5% Ni	18	3·70 × 10⁴	
„ „ 5·5% Wo	18	5·56 × 10⁴	
Gold, hart	0	46·8 × 10⁴	Matthiessen und v. Bose
„ weich	0	47·6 × 10⁴	
„ „	0	46·1 × 10⁴	Benoit
„	19·7	40·13 × 10⁴	Ihle
„	92·5	31·20 × 10⁴	

Metall	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Gold	0	49·1 × 10^4	Strouhal u. Barus
„ rein, gezogen	18	41·28 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
„ „ „	100	32·13 × 10^4	
„ 99·8 Au + 0·1 Fe + 0·1 Cu	18	24·68 × 10^4	
„ 99·8 „ + 0·1 „ + 0·1 „	100	21·24 × 10^4	
„ 99·9 fein	— 183	146·8 × 10^4	Dewar u. Fleming
„ 99·9 „	— 105	73·2 × 10^4	
„ 99·9 „	0	45·5 × 10^4	
„ 99·9 „	90·4	34·0 × 10^4	
„ 99·9 „	194·5	26·5 × 10^4	
Kalium, fest	0	15·05 × 10^4	Bernini
„ flüssig	100	6·06 × 10^4	
Kupfer, hart	0	55·4 × 10^4	Siemens
„ weich	0	58·8 × 10^4	
„ „	0	58·5 × 10^4	Benoit
„ hart	0	60·0 × 10^4	Bergmann
„ weich	0	62·0 × 10^4	
„	0—30	65·13 × 10^4	Berget
„ phosphorhaltig	15	23·55 × 10^4	Kirchhoff und Hansemann
„ Stab	18	27·2 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
„ „	100	43·2 × 10^4	
„ Draht	18	36·1 × 10^4	
„ „	100	42·4 × 10^4	
„ hart	0	62·4 × 10^4	Swan und Rhodin
„ weich	0	64·0 × 10^4	
„	0	65·2 × 10^4	Lagarde
„ elektrolytisch, gezogen und geglüht in Wasserstoff	— 206	696·3 × 10^4	Dewar u. Fleming
„	— 78	97·62 × 10^4	
„	0	64·06 × 10^4	
„	98	43·08 × 10^4	
„	205	34·24 × 10^4	
„	0	61·1 × 10^4	Kennelly und Fessenden
„ hart	18	38·6 × 10^4	Fitzpatrick
„ geglüht	18	60·1 × 10^4	
„	0	63·45 × 10^4	Haas
„	18	57·4 × 10^4	Grüneisen
„	20	59·7 × 10^4	Reichhardt
„ Normalkupfer	—	60 × 10^4	Verband deutscher Elektrotechniker
Natrium, fest	21·7	22·4 × 10^4	Matthiessen
„ flüssig	120·2	8·83 × 10^4	
„ fest	0	21·10 × 10^4	Bernini
„ flüssig	120	11·42 × 10^4	
„ 99·1 Na + 0·5 Al + 0·3 Cu	18·7	21·5 × 10^4	Lohr
Nickel	0	9·73 × 10^4	Harrison
„ 97% Ni + 1·4% Co + 0·4 Fe + 1·0 Mn + 0·1 Cu + 0·1 Si	18	8·50 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
„	100	6·37 × 10^4	
„ rein	— 182·5	69·3 × 10^4	Fleming
„ „	— 78·2	23·2 × 10^2	
„ „	0	14·42 × 10^4	
„ „	94·9	9·01 × 10^4	

Metall	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Platin	0	5·97 × 10^4	Krott
„ hart	0	8·56 × 10^4	Siemens
„ weich	0	6·55 × 10^4	Benoit
„	18	9·24 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
„	100	7·13 × 10^4	
„ Draht	— 203·1	40·9 × 10^4	Dewar u. Fleming
„ „	— 97·5	14·36 × 10^4	
„ „	0	9·12 × 10^4	
„ „	100	6·73 × 10^4	
„ „	195·8	5·40 × 10^4	
Quecksilber	0	1·06285 × 10^4	Dorn
„	10	1·0535 × 10^4	Strecker
„	20	1·0444 × 10^4	
„	25	1·0386 × 10^4	Grimaldi
„	30	1·0148 × 10^4	
„	100	0·9679 × 10^4	
„	150	0·9226 × 10^4	
„	200	0·8798 × 10^4	
„	225	0·8577 × 10^4	
„	100	0·9685 × 10^4	Vicentini und Omodei
„	150	0·9218 × 10^4	
„	200	0·8751 × 10^4	
„	250	0·8290 × 10^4	
„	300	0·7831 × 10^4	
„	350	0·7378 × 10^4	
„	— 183·5	14·35 × 10^4	Dewar u. Fleming
„	— 147·5	9·46 × 10^4	
„	— 102·9	6·65 × 10^4	
„	— 50·3	4·70 × 10^4	
„	— 40·7	3·46 × 10^4	
„	— 39·2	2·74 × 10^4	
„	— 38·1	2·205 × 10^4	
„	— 37·0	1·44 × 10^4	
„	— 36·1	1·24 × 10^4	
„	0	1·063 × 10^4	
„	35·4	1·034 × 10^4	
Silber, hart	0	60·8 × 10^4	Siemens
„ weich	0	67·9 × 10^4	
„	0	64·9 × 10^4	Benoit
„	0	67·0 × 10^4	Strouhal u. Barus
„ 999·8 fein	18	61·4 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
„ 999·8 „	100	46·9 × 10^4	
„ elektrolytisch	— 183	256·6 × 10^4	Dewar u. Fleming
„ „	— 78	97·92 × 10^4	
„ „	0	68·12 × 10^4	
„ „	98·15	48·49 × 10^4	
„ „	192·1	38·34 × 10^4	
„	0	65·87 × 10^4	H. F. Weber
„ hart	18	59·2 × 10^4	Fitzpatrick
„ geglüht	18	63·1 × 10^4	
„	17·6	59·76 × 10^4	Ihle
„	92·9	46·56 × 10^4	
Zink	0	17·43 × 10^4	H. F. Weber

Metall	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Zink, chemisch rein	0	18·6 $\times 10^4$	Sturm
„ geglüht bei 350°	0	17·70 $\times 10^4$	Benoit
„ gehämmert	0	16·22 $\times 10^4$	
„	0	17·44 $\times 10^4$	Oberbeck und Bergmann
„	0	16·48 $\times 10^4$	Mayerhofer
„	15	15·78 $\times 10^4$	Kirchhoff und Hansemann
„	0—30	18·00 $\times 10^4$	Berget
„ fest	Schmelzpkt.	5·43 $\times 10^4$	De la Rive
„ flüssig	„	2·71 $\times 10^4$	
„ „	440	2·69 $\times 10^4$	
„ rein	18	16·51 $\times 10^4$	Jaeger u. Diesselhorst
„ „	100	12·39 $\times 10^4$	
„ 98·6% Zn + 1·1% Pb + + 0·25% Cu	18	15·83 $\times 10^4$	
	100	12·13 $\times 16^4$	
„	Zimmertemperatur	16·4 $\times 10^4$	F. A. Schultze
Zinn	0	8·61 $\times 10^4$	Benoit
„	0	10·34 $\times 10^4$	H. F. Weber
„	15	9·38 $\times 10^4$	Kirchhoff und Hansemann
„	0	9·61 $\times 10^4$	Oberbeck und Bergmann
„	0	9·346 $\times 10^4$	Lorenz
„	100	6·524 $\times 10^4$	
„ flüssig	226·5	2·08 $\times 10^4$	Vicentini und Omodei
„	0	9·99 $\times 10^4$	Vassura
„ fest	226·5	4·49 $\times 10^4$	
„ flüssig	226·5	2·11 $\times 10^4$	
„	358	1·96 $\times 10^4$	De la Rive
„	860	1·48 $\times 10^4$	
„	17·8	7·84 $\times 10^4$	Ihle
„	92·9	6·03 $\times 10^4$	
„	—183	29·4 $\times 10^4$	Dewar u. Fleming
„	— 78	11·4 $\times 10^4$	
„	0	7·66 $\times 10^4$	
„	91·45	5·48 $\times 10^4$	
„	176	4·73 $\times 10^4$	
„	0—30	8·33 $\times 10^4$	Berget
„	Zimmertemperatur	8·55 $\times 10^4$	R. H. Weber
„	„	8·57 $\times 10^4$	F. A. Schultze
„ Draht	18	8·82 $\times 10^4$	Jaeger u. Diesselhorst
„ „	100	6·53 $\times 10^4$	

Elektrische Leitfähigkeit von Legierungen.

Legierung	Temperatur in Graden C.	Leistungsfähigkeit in $\frac{1}{ohm}$	Beobachter
Messing, rot	0	15·75 $\times 10^4$	Lorenz
„ „	100	13·31 $\times 10^4$	
„ gelb	0	12·625 $\times 10^4$	
„ „	100	11·00 $\times 10^4$	
„ 29·8% Zn + 70·2% Cu, hart	0	12·16 $\times 10^4$	Siemens
„ 29·8% Zn + 70 2% Cu, weich	0	14·35 $\times 10^4$	
„ 40 % Zn + 60 Cu	20·5	13·58 $\times 10^4$	Ihle
„ 40 % Zn + 60 Cu	91·8	12·38 $\times 10^4$	
„ 99·3 % Cu + 0·7% Zn	0	54·56 $\times 10^4$	Haas
„ 90·9 % „ + 9·1% „	0	27·49 $\times 10^4$	
„ 65·8 % „ + 34·2% „	0	15·87 $\times 10^4$	
„ 53·1 % „ + 46·9% „	0	23·18 $\times 10^4$	
„ 0·15% „ + 99·85% „	0	17·00 $\times 10^4$	
„ 9·7 % „ + 92·3% „	Zimmertemperatur	14·3 $\times 10^4$	R. H. Weber
„ 26 % „ + 74% „		12·4 $\times 10^4$	
„ 42 % „ + 58% „		15·6 $\times 10^4$	
Bronze, 88% Cu + 12% Sn + + 0·94% P	18·8	5·61 $\times 10^4$	Ihle
	92·2	5·41	
Phosphorbronze	18	8·48 bis 12·99 $\times 10^4$	Deutsche Telegraphenverwaltung
„	—	12·9 $\times 10^4$	Felten u. Guilleaume
„	—	21·51 $\times 10^4$	Laz. Weiller
Rotguß, 65·7% Cu + 7·2% Zn + + 6·4% Sn + 0·6% Ni	18	7·89 $\times 10^4$	Jaeger und Diesselhorst
	100	7·40 $\times 10^4$	
Konstantan, 60% Cu + 40% Ni	18	2·04 $\times 10^4$	
„ 60% „ + 40% „	100	2·037 $\times 10^4$	
„ 54% „ + 46% „	18	1·99 $\times 10^4$	Grüneisen
Kobalt-Kupfer, 98·5% Cu + + 1·5% Co	20	14·8 $\times 10^4$	Reichardt
„ 76·4% Cu + + 23·6% Co	20	8·75 $\times 10^4$	
„ 53·4% Cu + + 46·6% Co	20	8·82 $\times 10^4$	
„ 40·6% Cu + + 59·4% Co	20	7·75 $\times 10^4$	
„ 9·6% Cu + + 90·4% Co	20	4·11 $\times 10^4$	
Neusilber	0	3·768 $\times 10^4$	Benoit
„	0	3·766 $\times 10^4$	Lorenz
„	100	3·622 $\times 10^4$	
„	0	4·83 $\times 10^4$	van Aubel
„	— 182	3·54 $\times 10^4$	Dewar u. Fleming
„	— 100·6	3·41 $\times 10^4$	
„	0	3·33 $\times 10^4$	
„	93	3·26 $\times 10^4$	
Manganin, 84% Cu + 12% Mn + 4% Ni	— 200·5	2·21 $\times 10^4$	
	— 100·6	2·11 $\times 10^4$	
	0	2·10 $\times 10^4$	
	93	2·10 $\times 10^4$	

Legierung	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit in $\frac{1}{\text{ohm}}$	Beobachter
Manganin	18	2·378 × 10^4	Jaeger u. Diesselhorst
"	100	2·375 × 10^4	
"	0	2·94 × 10^4	van Aubel
Aluminiumbronze, weich	0	8·41 × 10^4	Benoit
" 90%Cu + 10%Al, unbearbeitet	20	7·58 × 10^4	M. Weber
" 90%Cu + 10%Al, geglüht	20	7·45 × 10^4	
" 90%Cu + 10%Al, gezogen	20	6·88 × 10^4	
" 90% Cu + 10% Al	0	9·41 × 10^4	van Aubel
" 97% Cu + 3% Al	— 182	13·65 × 10^4	Dewar u. Fleming
" 97% Cu + 3% Al	— 100·6	12·43 × 10^4	
" 97% Cu + 3% Al	0	11·80 × 10^4	
" 97% Cu + 3% Al	93	10·44 × 10^4	
" 6% Cu + 94% Al	— 182	139·9 × 10^4	
" 6% Cu + 94% Al	— 100·6	58·31 × 10^4	
" 6% Cu + 94% Al	0	34·44 × 10^4	
" 6% Cu + 94% Al	93	25·14 × 10^4	
" 87%Cu + 6·5%Ni, + 6·5% Al	— 182	7·66 × 10^4	
" 87%Cu + 6·5%Ni, + 6·5% Al	— 100·6	7·15 × 10^4	
" 87%Cu + 6·5%Ni, + 6·5% Al	0	6·70 × 10^4	
" 87%Cu + 6·5%Ni, + 6·5% Al	93	6·34 × 10^4	
Nickelin, 61·6% Cu + 19·7% Zn + 18·5% Ni + + 0·2% Fe	—	3·01 × 10^4	Feussner und Lindeck
" 54·6% Cu + 20·4% Zn + 24·5% Ni + + 0·6% Fe	—	2·239 × 10^4	
Mangankupfer, 70% Cu + + 30% Mn	—	0·997 × 10^4	
" 73%Cu + 3%Ni + + 24% Mn	—	2·10 × 10^4	
Patentnickel, 74·7% Cu + 0·5% Zn + 24·1% Ni + 0·7% Fe	—	3·05 × 10^4	
Nickelkupfer, 89·8% Cu + + 10% Ni + 0·15% Fe	—	6·85 × 10^4	Feussner
" 69·7% Cu + 30% Ni + 0·4% Fe	—	2·60 × 10^4	
" 54% Cu + 46·2% Ni + + 0·3 Fe	—	1·92 × 10^4	
Ferronickel	0	1·28 × 10^4	van Aubel
" 50% Fe + 50% Ni	0	2·78 × 10^4	Le Chatelier
" 50% " + 50% "	200	1·60 × 10^4	
" 50% " + 50% "	600	1·00 × 10^4	
" 50% " + 50% "	1000	0·95 × 10^4	
Nickelstahl, 4·35% Ni	— 182	5·14 × 10^4	Dewar u. Fleming
" 4·35% "	— 100·6	4·21 × 10^4	

Legierung	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit in $\frac{1}{\text{ohm}}$	Beobachter
Nickelstahl 4·35% „	0	$3·40 \times 10^4$	Dewar u. Fleming
„ 4·35% „	93	$2·84 \times 10^4$	
Kruppin	—	$1·20 \times 10^4$	Dettmar
„	—	$1·17 \times 10^4$	van Aubel
Platin-Gold, Dichte 21·29 . .	0	$5·74 \times 10^4$	Barus
„ „ 21·17 ...	0	$4·30 \times 10^4$	
Platin-Iridium, Dichte 21·27	0	$5·48 \times 10^4$	
„ „ 21·32	0	$4·49 \times 10^4$	

Elektrische Leitungsfähigkeit fester und geschmolzener Salze und Oxyde.

Salz oder Oxyd	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Silberchlorid, $Ag\,Cl$	20	$<0·35 \times 10^{-5}$	W. Kohlrausch
„ „ „	380	0·021	
„ „ „ flüssig ..	500	1·83	
„ „ „ „ ...	650	4·68	
Silberbromid, $Ag\,Br$.........	20	$0·35 \times 10^{-5}$	
„ „ „	295	0·011	
„ „ „	400	0·35	
„ „ „ flüssig ...	500	2·95	
„ „ „ „ ...	600	3·31	
Silberjodid, $Ag\,J$...........	86	$0·11 \times 10^{-4}$	
„ „ „...........	200	1·31	
„ „ „...........	400	1·97	
„ „ „...........	500	2·13	
„ „ „...........	700	2·53	
Silbernitrat, $Ag\,NO_3$, flüssig	300	1·11	Poincaré
Cadmiumchlorid, $Cd\,Cl_2$, fest	370	0·0007	Graetz
„ „ „ „	500	0·0106	
„ „ „ „	530	0·1042	
„	538	0·1212	
„	580	0·1562	
Kuprochlorid, $Cu_2\,Cl_2$, fest . .	140	0·0010	
„ „ „ „ ..	250	0·0345	
„ „ „ „ ..	400	0·2073	
„ „ „ flüssig	440	0·2084	
„ „ „ „	490	0·3960	
Kaliumchlorid, KCl, flüssig. .	750	1·908	Poincaré
Kaliumchlorat, $KClO_3$, fest . .	145	$0·268 \times 10^{-12}$	Foussereau
„ „ „ ..	200	$0·318 \times 10^{-10}$	
„ „ „ ..	300	$0·179 \times 10^{-6}$	
„ „ „ ..	352	$0·125 \times 10^{-4}$	
„ „ flüssig	359	0·238	
Kaliumcarbonat, K_2CO_3, flüssig	1150	0·2285	Braun

Salz oder Oxyl	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Kaliumnitrat, KNO_3, fest....	30	$0·312 \times 10^{-12}$	Foussereau
„ „ „	100	$0·568 \times 10^{-10}$	
„ „ „	200	$0·106 \times 10^{-6}$	
„ „ „	300	$0·340 \times 10^{-4}$	
„ „ „	250	0·2658	Graetz
„ „ „	300	0·4996	
„ „ flüssig .	342	0·6910	Braun
„ „ „ .	355	0·7656	Foussereau
„ „ „ .	336	0 6910	Graetz
„ „ „ .	380	0·8631	
„ „ „ .	350	0·7261	Bouty und Poincaré
Natriumsulfat, Na_2SO_4, flüssig	1280	0·3912	Braun
Natriumchlorid, NaCl, erstarr.	erstarrend	0·4379	
„ „ flüssig	960	0·9206	
„ „ „	750	3·339	Poincaré
Natriumnitrat, $NaNO_3$, fest .	52	$0·662 \times 10^{-12}$	Foussereau
„ „ „	100	$0·170 \times 10^{-10}$	
„ „ „	200	$0·176 \times 10^{-7}$	
„ „ „	250	$0·654 \times 10^{-6}$	
„ „ „	289	$0·155 \times 10^{-4}$	
„ „ flüssig	300	0·441	
„ „ „	356	0·666	
„ „ „	314	1·22	Braun
„ „ „	350	1·097	Bouty und Poincaré
Ammoniumnitrat, NH_4NO_3, fest	44	$0·108 \times 10^{-6}$	Foussereau
„ „ „	100	$0·212 \times 10^{-4}$	
„ „ „	130	$0·352 \times 10^{-3}$	
„ „ flüssig	154	0·324	
„ „ „	188	0·479	
„ „ „	200	0·401	Poincaré
Bleichlorid, $PbCl_2$, fest......	200	0·00008	Graetz
„ „ „	500	1·2116	
„ „ flüssig....	520	2·3918	
„ „ „	580	2·6894	Braun
Bleisuperoxydhydrat......	—	0·163	Shields
„	—	4·68	Weyde
„ mit 1·5% Wasser	—	$0·0335 \times 10^{1}$	Ferchland
„ gepreßtes Pulver	0	0·435	Streintz
Antimonchlorid, $SbCl_3$, flüssig	100	0·00078	Graetz
„ „ „	200	0·00114	
Strontiumchlorid, $SrCl_2$, „	910	0·2402	Braun
Zinkchlorid, $ZnCl_2$, fest.....	59	$0·418 \times 10^{-9}$	Foussereau
„ „ „	100	$0·833 \times 10^{-7}$	
„ „ „	200	$0·725 \times 10^{-3}$	
„ „ „	230	0·0002	Graetz
„ „ „	262	0·0106	
„ „ flüssig .	258	0·224	Foussereau
„ „ „ ...	300	0·1541	Graetz
„ „ „ ...	310	0·345	Foussereau
„ „ „ ...	240	$0·15 \times 10^{-4}$	H. S. Schulze
„ „ „ ...	300	$0·186 \times 10^{-2}$	

Salz oder Oxyd	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Zinkchlorid, $ZnCl_2$, flüssig ...	400	0·026	H. S. Schulze
„ „ „ ...	500	0·104	
„ „ „ ...	600	0·279	
„ „ „ ...	700	0·460	
Magnesia, MgO	1500	0·000085	Nernst und Reynolds
Zirkon, ZrO_2	1200	0·81 $\times 10^{-3}$	
Yttriumoxyd, Y_2O_3	1320	0·082	
$ZrO_2 + 15\% Se_2O_3$	1040	0·12	
$ThO_2 + 15\% La_2O_3$	1250	0·012	
$MgO + 10\% B_2O_3$	1250	0·012	
Kobaltoxyd, Co_2O_3	18	0·013	Reynolds
„ „	940	115·5	
Mangansuperoxyd, MnO_2, Pulver ..	0	0·16	Streintz
Kupfersulfid, Cu_2S, Pulver ..	0	0·91 $\times 10^{2}$	
Bleisulfid, PbS	— 187·2	1·52 $\times 10^{4}$	v. Aubel
„ „	— 74·9	0·589 $\times 10^{4}$	
„ „	20·7	0·347 $\times 10^{4}$	
„ „	81·9	0·278 $\times 10^{4}$	
„ „	— 25	0·379 $\times 10^{4}$	Guinchant
„ „	0	0·335 $\times 10^{4}$	
„ „	118	0·197 $\times 10^{4}$	
„ „	670	0·0187 $\times 10^{4}$	
„ „	920	0·0077 $\times 10^{4}$	
Zinnmonosulfid, SnS	0	0·935 $\times 10^{-3}$	
„ „	100	2·76 $\times 10^{-3}$	
„ „	520	565 $\times 10^{-3}$	
„ „	920	16400 $\times 10^{-3}$	
Eisenmonosulfid, FeS	0	8·98	
„ „	350	98·1	

Elektrische Leitfähigkeit von Kohle, Mineralien, Glas etc.

Substanz	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Kohlenstoff, amorph	12	0·25	Streintz
Gasretortenkohle von Dubosq	0	0·0145 $\times 10^{4}$	Siemens
„ „ Goudoin	0	0·0204 $\times 10^{4}$	Muraoka
Bogenlichtkohle..........	0	0·0248 $\times 10^{4}$	
Glühfaden aus einer Edison-Swan-Lampe	— 182	0·0235 $\times 10^{4}$	Dewar and Fleming
„ aus einer Edison-Swan-Lampe	— 100	0·0241 $\times 10^{4}$	
„ aus einer Edison-Swan-Lampe	18·9	0·0252 $\times 10^{4}$	
Magnetit, schwedisch	17	1·68	Bäckström
Eisenglanz, norwegisch, Hauptachse...........	0	1·24	

Substanz	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Eisenglanz, norwegisch, Hauptachse	100	3·02	Bäckström
„ norwegisch, ⊥ zur Hauptachse	0	2·41	
„ norwegisch, ⊥ zur Hauptachse	100	5·47	
Glimmer	20	0·114 $\times 10^{-15}$	Curie
„	—	0·751 $\times 10^{-10}$	Rood
Hartgummi	20	0·486 $\times 10^{-15}$	Curie
„	100	0·306 $\times 10^{-14}$	
Guttapercha	—	0·541 $\times 10^{-9}$	Rood
Steinsalz	20	0·111 $\times 10^{-16}$	Curie
„	100	0·756 $\times 10^{-14}$	
„	150	0·249 $\times 10^{-15}$	
Flußspat	20	0·00	
„	100	0·238 $\times 10^{-13}$	
„	150	0·150 $\times 10^{-11}$	
Kalkspat, Achsenrichtung	20	0·181 $\times 10^{-14}$	
„ „	100	0·202 $\times 10^{-11}$	
„ „	160	0·328 $\times 10^{-10}$	
„ ⊥ zur Achse	15	0·106 $\times 10^{-15}$	
„ ⊥ „ „	100	0·422 $\times 10^{-12}$	
„ ⊥ „ „	150	0·769 $\times 10^{-11}$	
Nickelerz	20	0·0313 $\times 10^{-4}$	Abt
Siderit	20	1·40 $\times 10^{-4}$	
Chalkopyrit	20	0·983	
Pyrit	20	0·1086	
„	— 181	0·098	van Aubel
„	— 75·2	0·31	
„	20	0·661	
„	60	0·85	
Glas	20	0·202 $\times 10^{-18}$	Curie
„	224	0·625 $\times 10^{-7}$	Warburg und Tegetmeier
„ gewöhnlich, Dichte 2·539	— 15	0·158 $\times 10^{-15}$	Foussereau
„ „ „ 2·539	0	0·101 $\times 10^{-14}$	
„ „ „ 2·539	10	0·352 $\times 10^{-14}$	
„ „ „ 2·539	50	0·418 $\times 10^{-12}$	
„ „ „ 2·539	60	0·128 $\times 10^{-11}$	
„ Kristallglas, Dichte 3·141	50	0·293 $\times 10^{-15}$	
„ „ „ 3·141	60	0·113 $\times 10^{-14}$	
„ „ „ 3·141	100	0·602 $\times 10^{-18}$	
„ böhmisches, Dichte 2·430	60	0·165 $\times 10^{-13}$	Gray
„ „ „ 2·430	174	0·115 $\times 10^{-9}$	
„ französisches, Dichte 2·533	60	0·10 $\times 10^{-11}$	
„ Bleiglas	100	0·49 $\times 10^{-14}$	
„ Flintglas, Dichte 2·829	100	0·119 $\times 10^{-18}$	Gray und Dobbie
„ „ „ 3·141	100	0·118 $\times 10^{-11}$	
„ Spiegelglas	223	0·28 $\times 10^{-7}$	Beetz
„ Flaschenglas	222·5	0·71 $\times 10^{-7}$	
„ Bleiglas	100	0·24 $\times 10^{-13}$	Bollé
„ Natronglas	220	0·61 $\times 10^{-6}$	Denizot
„ Bleiglas	200	0·29 $\times 10^{-10}$	

Substanz	Temperatur in Graden C.	Leitungsfähigkeit	Beobachter
Porzellan	50	$0{\cdot}465 \times 10^{-15}$	Foussereau
„	200	$0{\cdot}746 \times 10^{-10}$	
„	1000	$0{\cdot}3 \times 10^{-5}$	Nernst und Reynolds
Schwefel, kristallinisch	69	$0{\cdot}254 \times 10^{-15}$	Foussereau
„ amorph	69	$0{\cdot}562 \times 10^{-10}$	
„ flüssig	115	$0{\cdot}105 \times 10^{-11}$	
„ „	330	$0{\cdot}354 \times 10^{-10}$	Monckmann
„ „	440	$0{\cdot}125 \times 10^{-8}$	
Eis	0	$0{\cdot}251 \times 10^{-10}$	Foussereau
Zement	16	$0{\cdot}22 \times 10^{-8}$	Lindeck
Beton, 1 Teil Zement + 3 T. Sand	16·5	$0{\cdot}69 \times 10^{-4}$	
„ 1 „ „ + 5 „ Kies	18·5	$0{\cdot}24 \times 10^{-4}$	
„ 1 „ „ + 7 „ „	18·5	$0{\cdot}20 \times 10^{-4}$	
Paraffin	—	$0{\cdot}34 \times 10^{-18}$	Braun

Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur bei Metallen.

$$R = R_0 (1 + a t + b t^2 + c t^3).$$

Metall	Temperatur in Graden C.	a	b	c	Beobachter
Aluminium	0 bis 440	0·003876	$0{\cdot}0_5 1320$	—	Benoit
Blei, fest	0 „ 325	0·004039	$0{\cdot}0_7 8117$	$0{\cdot}0_8 3214$	Vicentini und Omodei
„ flüssig	325 „ 350	0·00052	—	—	
Eisen	0 „ 860	0·004516	$0{\cdot}0_5 5828$	—	Benoit
„ Stahl	0 „ 860	0·004978	$0{\cdot}0_5 7351$	—	
Kalium, fest	0 „ 61	0·005810	—	—	Bernini
„ flüssig	62·5 „ 130	0·004184	—	—	
Kupfer	−123 „ 0	0·00423	—	—	Cailletet und Bouty
„	0 „ 860	0·003637	$0{\cdot}0_6 587$	—	Benoit
Lithium, fest	0 „ 177·8	0·004568	—	—	Bernini
„ flüssig	178·8 „ 230	0·002729	—	—	
Magnesium	− 88 „ 0	0·00390	—	—	Cailletet und Bouty
„	0 „ 440	0·003870	$0{\cdot}0_6 863$	—	Benoit
Natrium	0 „ 97·3	0·004386	—	—	Bernini
„	98·5 „ 120	0·003328	—	—	
Nickel	−100 „ 0	0·00500	—	—	Dewar und Fleming
„	20 „ 220	0·004481	$-0{\cdot}0_5 14$	—	Battelli
„	230 „ 360	0·004950	$-0{\cdot}0_5 21$	—	
„ 1·4 Co + 0·4 Fe + 1 Mn + 0·1 Cu + 0·1 Si	18 „ 100	0·00438	—	—	Jaeger und Diesselhorst
Platin	0 „ 860	0·002454	$-0{\cdot}0_6 594$	—	Benoit

Metall	Temperatur in Graden C.	a	b	c	Beobachter
Platin	—189 bis 0	0·003934	$-0{\cdot}0_{6}988$	—	Holborn
Quecksilber, fest	— 92 „ —40	0·00407	—	—	Cailletet und Bouty
„ ...	0 „ 360	0·000882	$0{\cdot}0_{5}114$	—	Benoit
Silber, weich	0 „ 860	0·003972	$0{\cdot}0_{6}687$	—	Benoit
„	—102 „ 30	0·00385	—	—	Cailletet und Bouty
Zink	0 „ 360	0·004192	$0{\cdot}0_{5}1481$	—	Benoit
Zinn............	—100 „ 0	0·00509	—	—	Dewar und Fleming
„	0 „ 226·5	0·004951	$0{\cdot}0_{5}8544$	$0{\cdot}0_{8}35$	Vicentini und Omodei
„ flüssig	226·5 „ 350	0·00059	—	—	Vicentini und Omodei

Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur bei Legierungen und Amalgamen.

$$R = R_0 (1 + a t + b t^2).$$

Legierung	Temperatur in Graden C.	a	b	Beobachter
Messing, gelb	0—860	0·001599	—	Benoit
Aluminiumbronze	0—860	0·001020	—	Benoit
Neusilber..............	0— 20	0·000666	$-0{\cdot}0_{6}8$	Strecker
„ B. A. Etalon.....	0— 27	0·000272	—	Mascart, de Nerville und Benoit
Argentan, 61·6 Cu + 15·8 Ni + + 22·6 Zn	0—160	0·0003873	$-0{\cdot}0_{6}55776$	Arndtsen
Platinoid (Neusilber mit Wo)	0—100	0·0002	—	Bottomley
Mangankupfer, 91·9 Cu + + 6·4 Mn + 1·7 Fe, hart	20—100	0·000138	—	Blood
„ dto., weich	20—100	0·000184	—	Blood
„ 70·6 Cu + 23·2 Mn + + 6·2 Fe, hart	20—100	— 0·000024	—	Blood
„ dto., weich	20—100	0·000021	—	Blood
„ 52·5 Cu + 16·2 Ni + + 24·5 Mn + 6·8 Fe, hart	20—100	— 0·000039	—	Blood
„ dto., weich	20—100	— 0·000032	—	Blood
„ 69·7 Cu + 29·9 Ni + + 0·3 Fe + 0·3 Mn ...	0—100	0·000012	—	Feussner
„ 58·6 Cu + 41·2 Ni + + 0·4 Fe	0—100	— 0·000032	—	Feussner
„ 54 Cu + 46·2 Ni + + 0·3 Fe	0—100	— 0·000008	—	Feussner
„ 49·8 Cu + 49·4 Ni + + 0·5 Fe + 0·2 Mn ...	0—100	— 0·000004	—	Feussner
Patentnickel, 75 Cu + + 24 Ni + 0·6 Fe.	0—100	0·00021	—	Feussner
Rheotan	0	0·00041	—	van Aubel
Kruppin	0	0·0007	—	van Aubel

Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur bei Kohle und Salzen.

$$R = R_0 (1 + a t + b t^2)$$

Material	Temperatur in Graden C.	a	b	Beobachter
Graphit aus Sibirien....	26 – 302	— 0·000739	$0{\cdot}0_6 273$	Muraoka
Gasretortenkohle aus Berlin	75—200	— 0·000345	—	Siemens
Gasretortenkohle aus Paris	17·5 – 100	— 0·000300	—	Muraoka
Koke zur elektrischen Beleuchtung, geglüht.	21—140	— 0·00033	—	
„ zur elektrischen Beleuchtung, geglüht.	21—230	— 0·00031	—	Borgmann
„ zur elektrischen Beleuchtung, geglüht.	20—292	— 0·00024	—	
Kunstkohle (für elektr. Licht	25—230	— 0·000314	—	Siemens
„ (andere Probe)	26—335	— 0·000425	$0{\cdot}0_6 915$	Muraoka
Zinkchlorid	258—310	— 0·005277	$0{\cdot}0_5 76$	Foussereau
Bleisuperoxid, gepreßtes Pulver ..	77—10	0·00065	—	Streintz
Kupfersulfid, gepreßtes Pulver ..	15—245	0·0005	—	

II. Kapitel.

Elektrische Systeme.

Als elektrisches System können wir jeden Apparat bezeichnen, der Energie beliebiger Art in elektrische Energie, oder elektrische Energie in andere Energieformen oder doch in andere Arten von elektrischer Energie umwandelt.

Die elektrischen Systeme sind im allgemeinen umkehrbar. Sie können in zwei verschiedenen Zuständen auftreten:

a) Im statischen Zustande, wenn die Elektrizität an der Ausbreitung und am Ausgleich mit ungleichnamiger Elektrizität gehindert ist. Wir haben es somit mit der elektrischen Ladung eines isolierten Körpers oder mit entgegengesetzten Ladungen zweier durch ein Dielektrikum getrennter Körper zu tun, die sich gegenseitig das Gleichgewicht halten. Unter diesen Umständen kann kein elektrischer Strom entstehen.

b) Im dynamischen Zustande, wo der Ausbreitung, bezw. Ausgleichung der elektrischen Energie kein unüberwindliches

Hindernis entgegensteht. Unter diesen Umständen entsteht ein elektrischer Strom. Diese Systeme sind meist umkehrbar.

Jede geschlossene und isolierte Systemanordnung heißt Stromkreis, gleichgültig, ob er ein oder mehrere elektrische Systeme im statischen oder dynamischen Zustande enthält. In letzterem Falle ist die Stromstärke in jedem Querschnitt des Stromkreises die gleiche.

Die elektrischen Systeme lassen sich je nach der Art der Umwandlung, die sich in ihnen vollzieht, in vier Gruppen teilen:

I. Systeme, welche auf der gegenseitigen Umwandlung von mechanischer und elektrischer Energie beruhen. Hieher gehören die magnet-elektrischen und die Dynamomaschinen, die umkehrbare Systeme darstellen. Sie dienen als Elektrizitätsgeneratoren sowohl als auch zur elektrischen Kraftübertragung, können aber, obwohl sie in der modernen Technik eine hervorragende Rolle spielen, hier nicht näher behandelt werden.

II. Systeme, welche die Umformung elektrischer Energie bezwecken (Induktionsapparate). Hieher gehören die Transformatoren, wie beispielsweise der bekannte Ruhmkorff'sche Funkeninduktor, die elektrischen Öfen von Ferranti und von Kjellin, etc. Auf letztere werden wir bei Besprechung der elektrischen Öfen noch zurückkommen.

III. Systeme, welche die gegenseitige Umwandlung von Wärme und Elektrizität bezwecken.

Wir wollen hierauf etwas näher eingehen, wobei wir beachten wollen, daß diese Systeme, wo sie rein auftreten, nur aus Leitern der I. Klasse bestehen können.

a) Homogene Leiter der I. Klasse. Sie stellen die einfachsten Systeme dieser Art dar und lassen sich auf einen isolierten Leiter (Fig. 191) zurück führen. In einem solchen Leiter vollzieht sich die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme in nicht umkehrbarer Weise.

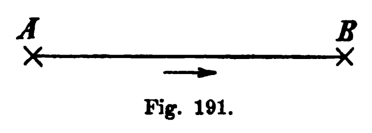


Fig. 191.

Hier gilt das Ohm'sche Gesetz. Wenn das Leiterstück A B den Widerstand R (in Ohm) besitzt, die Potentialdifferenz zwischen den beiden Endpunkten desselben E Volt beträgt und durch den Leiter ein Strom von J Ampère fließt, so ist

$$E = R . J.$$

Die Wärmemenge A_k, welche pro Sekunde in irgend einem Teile des Schließungskreises von dem durchfließenden Strome entwickelt wird, ist nach dem Joule'schen Gesetze:

$$
\begin{aligned}
A_k &= K.R.J^2 \\
&= K.E.J \\
&= K.\frac{E^2}{R}.
\end{aligned}
$$

Drückt man E in Volt, J in Ampère und R in Ohm aus, so ist:

$$K = 0{\cdot}2387 \text{ kleine Kalorien.}$$

b) Heterogene Leiter der I. Klasse verwandeln Wärme in elektrische Energie und werden Thermoelemente genannt. Sie bestehen aus zwei Körpern verschiedener Art, meist aus zwei verschiedenen Metallen und sind in Form eines Stabes oder einer Stange aneinandergelötet. Diese Systeme sind reversibel.

Fig. 192 gibt in typischer Darstellung ein solches System. Zwei Metallstreifen A und B sind bei s mit je einem ihrer Enden zusammengelötet. An den anderen Enden derselben sind Drähte aus demselben Metalle (oder gewöhnlich aus Kupfer) angelötet, deren Enden α und β frei sind, d. h. sich nicht berühren, so daß zwischen denselben sich ein Dielektrikum befindet.

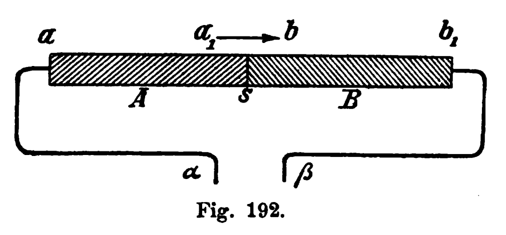


Fig. 192.

Hier können drei verschiedene Fälle eintreten:

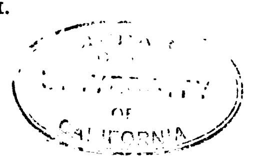
1. Das System befindet sich im statischen Zustande.

Wir wollen annehmen, daß die Stäbe A und B bei s nicht durch Lot miteinander verbunden, sondern nur einfach aneinander gedrückt seien, so daß sich dieselben unmittelbar, d. h. ohne Dazwischentreten eines dritten Körpers, berühren.

Unter diesen Umständen tritt zwischen irgend einem Punkte der Stange A und einem solchen der Stange B eine Potentialdifferenz auf, die jedoch keinen elektrischen Strom hervorruft, wie man erkennt, wenn man die freien Leiterenden α und β mit einem sehr empfindlichen Galvanometer verbindet; es tritt kein Ausschlag der Galvanometernadel ein, somit ist nicht die Spur eines Stromes vorhanden.

Um die hier auftretenden scheinbaren elektromotorischen Kräfte zu messen, benützt man Elektrometer oder einen entgegengesetzt wirkenden Strom von bekannter elektromotorischer Kraft.

Die folgende Tabelle gibt die von Pellat gemessene Potentialdifferenz bei Berührung verschiedener Metalle mit Gold:



Metall	Elektromotorische Kraft in Volt Oberfläche blank	Oberfläche hart gehämmert
Zink	0·85 Volt	1·08 Volt
Blei	0·70 „	0·77 „
Zinn	0·60 „	0·73 „
Antimon . .	0·44 „	0·49 „
Nickel . . .	0·38 „	0·45 „
Wismuth . .	0·36 „	0·48 „
Stahl . . .	0·29 „	0·44 „
Eisen . . .	0·29 „	0·38 „
Messing . .	0·29 „	0·37 „
Kupfer . . .	0·17 „	0·22 „
Platin . . .	—0·03 „	0·06 „
Gold	—0·04 „	0·07 „
Silber . . .	—0·06 „	0·04 „

2. Das System als Thermoelement, d. i. als Transformator von Wärme in elektrische Energie, betrachtet.

Man erhitzt die Lötstelle s (Fig. 192) auf die konstante Temperatur T, während die freien Enden der Stäbe A und B auf der Temperatur t erhalten werden. Einfachheitshalber wollen wir hiebei voraussetzen, daß die Drähte Aα und Bβ aus demselben Materiale hergestellt seien wie der Stab A.

Die Potentialdifferenz, welche jetzt zwischen α und β auftritt, ist eine Funktion der Temperaturdifferenz T — t. Sie äußert sich hier als wirkliche elektromotorische Kraft, denn, wenn man zwischen α und β ein Galvanometer einschaltet, so zeigt dieses das Auftreten eines Stromes an, der so lange konstant bleibt, als sich T und t nicht ändern.

Ed. Becquerel hat die Größe dieser elektromotorischen Kräfte gemessen, die bei der Berührung von Kupfer mit anderen Metallen auftreten, wenn $T = 100^0$ und $t = 0^0$ ist:

Elemente oder Metalle gegen Kupfer	Elektromotorische Kraft in 0·001 Volt
Tellur	+ 42·905 Millivolt
Schwefelkupfer, Max.	+ 35·186 „
„ Min.	+ 19·472 „
Antimon-Kadmium (gleiche Atome)	+ 22·994 „
„ -Zink „ „	+ 9·687 „
Antimon, gewöhnlich	+ 1·513 „
Eisen, gewöhnlicher Draht . . .	+ 1·020 „
„ „ „ . . .	+ 0·724 „
Kadmium, gewöhnlich, geschmolzen	+ 0·035 „

Elemente oder Metalle gegen Kupfer	Elektromotorische Kraft in 0·001 Volt.
Silberdraht	+ 0·028 Millivolt
Zink, gewöhnlich, geschmolzen .	— 0·019 „
„ andere Probe	— 0·040 „
Platindraht	— 0·097 „
„ andere Probe	— 0·406 „
Retortenkohle	— 0·152 „
Zinn, gewöhnlich	— 0·158 „
Blei, gewöhnlich	— 0·201 „
Quecksilber	— 0·519 „
Palladiumdraht	— 0·881 „
Neusilberdraht	— 1·353 „
Nickeldraht	— 1·751 „
Kobaltdraht	— 2·405 „
Wismuth, gewöhnlich	— 4·198 „
10 Wismuth + 1 Antimon . . .	— 6·655 „

Bei positivem Vorzeichen geht der Strom von Kupfer durch die erwärmte Lötstelle zum angeführten Körper, bei negativem Vorzeichen aber in entgegengesetzter Richtung.

Die elektromotorische Kraft eines aus zwei beliebigen der angeführten Stoffe gebildeten Thermoelementes ist gleich der Differenz der entsprechenden Werte der Tabelle; die Stromrichtung ist in gleicher Weise wie früher durch das Vorzeichen dieser Differenz gegeben. So ist die elektromotorische Kraft zwischen Tellur und Antimon = 42·905 — 1·513 = 41·392 Millivolt, jene zwischen Tellur und Wismuth = 42·905 — (— 6·655) = 49·560 Millivolt, und jene zwischen Palladiumdraht und Nickeldraht = — 0·881 — — (— 1·751) = 0·870 Millivolt.

Obige Angaben gelten jedoch nur für $T = 100^0$ und $t = 0^0$ genau. Verändert man die Temperaturen so, daß die Temperaturdifferenz konstant bleibt, so ändert sich die elektromotorische Kraft des Thermoelementes, und diese Veränderung kann bis Null, ja sogar noch weiter gehen, so daß eine Umkehrung des Vorzeichens eintritt.

Jene kritische Temperatur, bei welcher dies eintritt, wird als Neutraltemperatur des betreffenden Thermoelementes bezeichnet.

Die folgenden Tabellen geben Beispiele über die Änderungen der elektromotorischen Kraft mit der Temperatur:

Thermoelektrische Kräfte verschiedener Metalle gegen Platin.

(Die eine Lötstelle wird auf 0° C erhalten; bei + Vorzeichen geht der Strom durch diese auf 0° erhaltene Lötstelle vom betreffenden Metalle zum Platin.)

Metall gegen Platin		Temperatur der einen Lötstelle				Beobachter
		— 190°	— 100°	+ 100°	+ 200°	
Gold	[1]	— 0·12	— 0·33	+ 0·74	+ 1·79	Holborn und Day
„	[2]	—	—	+ 0·72	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	+ 0·08	— 0·20	+ 0·56	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·71	+ 1·70	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·74	—	Steele
Silber	[1]	— 0·14	— 0·32	+ 0·72	+ 1·73	Holborn und Day
„	[2]	—	—	+ 0·71	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	— 0·23	— 0·38	+ 0·78	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·67	+ 1·63	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·73	—	Steele
Kupfer	[2]	—	—	+ 0·72	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	— 0·20	— 0·36	+ 0·76	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·73	+ 1·75	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·76	—	Steele
Palladium	[1]	+ 0·79	+ 0·46	— 0·56	— 1·20	Holborn und Day
„	[2]	—	—	— 0·56	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	+ 0·63	+ 0·39	— 0·48	—	Dewar und Fleming
Zink	[2]	—	—	+ 0·75	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	— 0·12	— 0·33	+ 0·77	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·74	+ 1·85	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·60	—	Steele
Zinn	[2]	—	—	+ 0·42	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	+ 0·20	— 0·12	+ 0·45	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·40	+ 1·03	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·41	—	Steele
Aluminium	[2]	—	—	+ 0·38*)	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	+ 0·39	— 0·04	+ 0·40	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·37	+ 0·96	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·38**)	—	Steele
Cadmium	[2]	—	—	+ 0·85	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	— 0·06	— 0·31	+ 0·92	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	+ 0·88	+ 2·31	Noll
„	[5]	—	—	+ 0·90	+ 0·90	Steele
Nickel	[2]	—	—	— 1·62**)	—	Jaeger u. Diesselhorst
„	[3]	+ 2·22	+ 1·22	— 1·43	—	Dewar und Fleming
„	[4]	—	—	— 1·65*)	— 3·39*)	Noll

Metall gegen Platin	Temperatur der einen Lötstelle				Beobachter
	— 190°	— 100°	+ 100°	+ 200°	
Eisen 2)	—	—	+ 1·45*)	—	Jaeger u. Diesselhorst
„ 3)	— 2·87**)	— 1·83**)	+ 1·91**)	—	Dewar und Fleming
„ 4)	—	+ 1·59	+ 3·09	—	Noll
Blei 2)	—	—	+ 0·41	—	Jaeger u. Diesselhorst
„ 3)	+ 0·21	— 0·12	+ 0·44	—	Dewar und Fleming
„ 4)	—	—	+ 0·41	+ 1·03	Noll
Magnesium 3)	+ 0·33	— 0·08	+ 0·42	—	Dewar und Fleming
„ 4)	—	—	+ 0·40	+ 1·00	Noll
Quecksilber 4)	—	—	0·00	+ 0·04	Noll
Kobalt 4)	—	—	— 1·52*)	— 3·57*)	„
Antimon 5)	—	—	+ 4·70	—	Steele
Konstantan (60Cu + 40Ni) 2)	—	—	— 3·44	—	Jaeger u. Diesselhorst
Manganin (84Cu + 4Ni + + 12 Mn) 2)	—	—	+ 0·57	—	„ „ „
Wismuth 2)	—	—	— 6·52	—	„ „ „
„ 3)	+ 12·26*)	+ 7·58*)	— 7·25*)	—	Dewar und Fleming

Zur Berechnung der thermoelektrischen Kraft zwischen zwei Metallen ($f_{A,B}$) hat Avenarius und Tait eine Gleichung aufgestellt, welche mindestens zwischen 0° und 400° C ziemlich brauchbare Werte liefert. Sie lautet:

$$f_{A,B} = M\,[T - t]\left[T_n - \frac{T + t}{2}\right].$$

In derselben bedeutet T_n die neutrale Temperatur. Für $t = 0^0$ nimmt selbe die einfache Form an:

$$f_{A,B} = a\,T + b\,T^2.$$

Diese Gleichung ist jedoch im allgemeinen zu wenig genau, um sie zur Bestimmung hoher Temperaturen mittels der Thermoelemente benützen zu können. Doch ist es Le Chatelier gelungen, für einige Kombinationen die Beziehungen zwischen Temperatur und thermoelektrischer Kraft mit hinreichender Sicherheit zu ermitteln und so sehr brauchbare Pyrometer zu schaffen. (Siehe I. Bd., I. T.)

*) Verunreinigung in Spuren. **) Stärkere Verunreinigung.

1) Gezogener Draht, gemessen gegen Platin.

2) Stäbe von 1 bis 2 *cm* Durchmesser. Zn, Cd, Pb, Sn, Pt, Pd, Bi gegossen, die übrigen gezogen. Gegen Kupfer gemessen. Die Werte sind unter Annahme einer quadratischen Beziehung zwischen Thermokraft und Temperatur berechnet.

3) Gemessen gegen Blei, Temperatur in Grad Lufttemperatur umgerechnet.

4) Au, Ag, Hg, Zn, Co gegen Kupfer; Ni, Fe, Pb, Sn, Al, Cd, Mg gemessen gegen Hg. — Co gewalzt, Bi gegossen.

5) Gemessen gegen Pb, Zn und Sb gegossen, Cu hart gewalzt.

Thermokraft in Mikrovolt gegen Platin nach Holborn und Day.

Temperatur der einen Lötstelle	Au	Ag	90 Pt + + 10 Pd	10 Pt + + 90 Pd	Pd	90 Pt + + 10 Rh	90 Pt + + 10 Ru	Ir	Rh
− 185	− 0·15	− 0·16	−0·11	+0·24	+ 0·77	—	− 0·53	− 0·28	− 0·24
− 80	− 0·31	− 0·30	−0·09	+0·15	+ 0·39	—	− 0·39	− 0·32	− 0·31
+ 100	+ 0·74	+ 0·72	+0·26	−0·19	− 0·36	—	+ 0·73	+ 0·65	+ 0·65
+ 200	+ 1·8	+ 1·7	+0·62	−0·31	− 1·20	—	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·5
+ 300	+ 3·0	+ 3·0	+1·0	−0·37	− 2·0	+ 2·3	+ 2·6	+ 2·5	+ 2·6
+ 400	+ 4·5	+ 4·5	+1·5	−0·35	− 2·8	+ 3·2	+ 3·6	+ 3·6	+ 3·7
+ 500	+ 6·1	+ 6·2	+1·9	−0·18	− 3·8	+ 4·1	+ 4·6	+ 4·8	+ 5·1
+ 600	+ 7·9	+ 8·2	+2·4	+0·12	− 4·9	+ 5·1	+ 5·7	+ 6·1	+ 6·5
+ 700	+ 9·9	+10·6	+2·9	+0·61	− 6·3	+ 6·2	+ 6·9	+ 7·6	+ 8·1
+ 800	+12·0	+13·2	+3·4	+1·2	− 7·9	+ 7·2	+ 8·0	+ 9·1	+ 9·9
+ 900	+14·3	+16·0	+3·8	+2·1	− 9·6	+ 8·3	+ 9·2	+10·8	+11·7
+1000	+16·8	—	+4·3	+3·1	−11·5	+ 9·5	+10·4	+12·6	+13·7
+1100	—	—	+4·8	+4·2	−13·5	+10·6	+11·6	+14·5	+15·8
+1300	—	—	—	—	—	+13·1	+14·2	+18·6	+20·4
+1500	—	—	—	—	—	+13·6	+16·9	+23·1	+25·6

Anmerkung: Rhodium und Iridium sind gewalzt, alle übrigen gezogen. Siehe übrigens auch Technologie der Energien I, 1, p. 85.

3. Das System dient als Transformator von elektrischer Energie in Wärme (Peltier-Effekt). Besteht A (Fig. 192) beispielsweise aus Kupfer, B aber aus einem elektronegativen Körper, und schalten wir zwischen α und β eine Elektrizitätsquelle so ein, daß der Strom von A durch die Lötstelle s nach B fließt, so ergibt sich, daß die Temperatur der Lötstelle niederer ist als jene von benachbarten Punkten der Metalle A und B. Fließt der Strom hingegen von B nach A, so ist die Lötstelle wärmer als die Nachbarschaft.

Während also in den von der Lötstelle entfernteren Stücken der beiden Körper a a′ und b b′ der durchfließende Strom eine Wärmeentwicklung bewirkt, die dem Joule'schen Gesetze folgt, ist dies in dem die Lötstelle bildenden Stücke a′ b nicht der Fall. Überdies ist hier der thermische Effekt des Stromes ein verschiedener, je nach der Richtung, in welcher er fließt. Die Wärmeentwicklung ist kleiner, als dem Joule'schen Gesetze entsprechen würde, wenn der Strom vom Kupfer zum positiven Metalle fließt, sie ist hingegen größer, wenn er in entgegengesetzter Richtung durch die Lötstelle geht.

Ganz allgemein gesagt: wird die Berührungsstelle zweier verschiedener Metalle abgekühlt, wenn der Strom in derselben Richtung fließt wie jener Thermo-

strom, der entstehen würde, wenn man die Berührungsstelle erwärmt, und umgekehrt. Das System ist also umkehrbar.

Dieser sogenannte Peltier-Effekt ist von der Kontaktoberfläche unabhängig und der Intensität des die Lötstelle durchfließenden Stromes direkt proportional.

Sir W. Thomson (Lord Kelvin) fand, daß, wenn die Temperatur eines Drahtes (gleich viel, ob derselbe homogen oder heterogen sei) an verschiedenen Punkten eine ungleiche ist, diese verschiedenen Punkte auch von einem durchfließenden Strome verschieden erwärmt werden, je nachdem derselbe von wärmeren zu kälteren Partien fließt oder umgekehrt. Es entsteht somit eine Art von Wärmeübertragung, welche der Stromstärke proportional ist. Diese Erscheinung ist als Thomson-Effekt bekannt.

IV. Systeme, welche Leiter II. Klasse enthalten und in welchen elektrolytische Reaktionen auftreten.

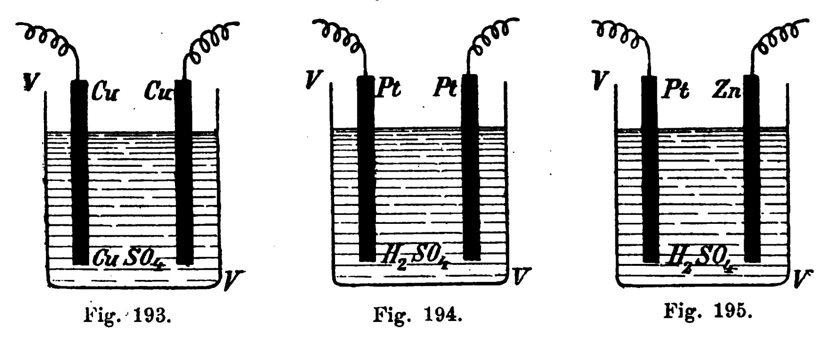


Fig. 193. Fig. 194. Fig. 195.

Systeme, welche die Umwandlung von chemischer Energie in elektrische bezwecken, nennt man galvanische Elemente, während solche, welche die entgegengesetzte Umwandlung bewirken, elektrolytische Apparate genannt werden.

Unter den hiehergehörigen Systemen gibt es auch reversible.

Im folgenden wollen wir einfachheitshalber nur solche Systeme betrachten, die aus Lösungen bestehen; das Verhalten geschmolzener Elektrolyten ist übrigens ein ganz analoges.

Von denselben lassen sich folgende sechs Typen unterscheiden:

1. Type (Fig. 193). Das elektrolytische System besteht aus einem zylindrischen oder parallelopipedischen Trog, der eine Salzlösung enthält, in welche zwei Leiter aus demselben Metalle tauchen, das auch als elektropositiver Bestandteil im gelösten Salze auftritt. Diese Systeme werden zur Metallraffination benützt.

2. Type (Fig. 194). Die Lösung ist eine Säure, beide Elektroden bestehen aus demselben Metalle.

Hieher gehören die Bleiakkumulatoren, deren Zusammensetzung durch das Schema

Bleischwamm | verdünnte Schwefelsäure | Bleisuperoxyd

dargestellt werden kann.

3. Type (Fig. 195). Die Elektroden bestehen aus zwei verschiedenen Metallen; sie tauchen in eine Säurelösung.

Hieher gehört das Smee-Element:

amalgamiertes Zink | Schwefelsäure | Platin.

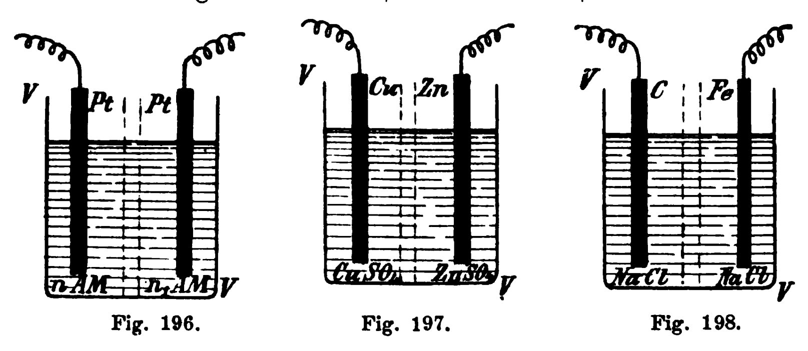


Fig. 196. Fig. 197. Fig. 198.

4. Type (Fig. 196). Der Trog VV ist durch eine permeable Scheidewand in zwei Räume geteilt. Diese Zwischenwand ermöglicht die Diffusion der in beiden Abteilungen des Troges enthaltenen Flüssigkeiten. Beide Elektroden bestehen aus demselben Materiale und tauchen in verschieden konzentrierte Lösungen desselben Salzes (Konzentrationsketten), oder sie tauchen in Lösungen verschiedener Salze, deren Konzentration dann gleich oder verschieden sein kann.

5. Type (Fig. 197). Der Trog ist gleichfalls durch eine permeable Scheidewand in zwei Räume geteilt. Die beiden Elektroden bestehen aus verschiedenem Materiale und tauchen in Salzlösungen, die aus demselben Metalle wie die betreffenden Elektroden neben einem und demselben negativen Bestandteile bestehen.

Als Beispiel kann das Daniell-Element dienen:

Cu | $CuSO_4$ | $ZnSO_4$ | Zn

6. Type (Fig. 198). Die allgemeine Anordnung ist dieselbe, wie im früheren Falle. Zwei Elektroden aus verschiedenen Materialien tauchen in Salzlösungen gleicher Art von ähnlicher oder verschiedener Konzentration. Beispiel:

Kohle | NaCl | Fe

(Gewinnung von Chlor und Ätznatron durch Elektrolyse von Kochsalz.)

III. Kapitel.

Elektrische Öfen.*)

Die elektrischen Öfen bezwecken die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme. Soweit hiebei Leiter der II. Klasse ausgeschlossen sind, gilt für diese Umwandlung das Joule'sche Gesetz.

Während aber in einem Leiter I. Klasse durch einen elektrischen Strom Wärme entwickelt, seine Temperatur also erhöht wird, gibt derselbe anderseits nach außen (an seine Umgebung) Wärme durch Leitung und Strahlung ab. Die Erwärmung des Leiters kann also nur so weit gehen, bis zwischen der Wärmezufuhr durch den elektrischen Strom und der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung Gleichgewicht eingetreten ist.

Erfolgt die Wärmeabgabe nur durch Strahlung, so ist der hiedurch bewirkte Wärmeverlust V von der Oberfläche O, dem Ausstrahlungsvermögen des Leiters a sowie von den Temperaturen des Leiters (t) und seiner Umgebung (t_0) abhängig.

Besteht der Leiter aus einem absolut schwarzen Körper, so ist daher

$$V = c.O.a\left(t^4 - t_0^4\right),$$

besteht er hingegen aus blankem Metall (z. B. Platin), so ist

$$V = c.O.a\left(t^5 - t_0^5\right).$$

worin c eine Konstante bedeutet.

Bezeichnen wir die vom Strome im Leiter produzierte Wärme mit W, so wird das Temperaturmaximum eintreten, wenn

$$V = W = R J^2$$

geworden.

Wir haben somit für den absolut schwarzen Körper

$$c.O.a\left(t^4 - t_0^4\right) = R.J^2,$$

also:

$$t - t_0 = \sqrt[4]{\frac{R.J^2}{c.O.a}},$$

für blankes Platin hingegen:

$$c.O.a\left(t^5 - t_0^5\right) = R.J^2$$

und

$$t - t_0 = \sqrt[5]{\frac{R.J^2}{c.O.a}}.$$

*) Siehe auch Chem. Technologie der Energien, I, 2, 17. Kapitel.

Nennen wir s den spezifischen Leitungswiderstand, so ist der Widerstand des Leiters

$$R = \frac{4\,L.s}{d^2\,\pi},$$

worin d die Dicke und L die Länge des Leiters bedeutet. Weil nun $O = L.d$ ist, erhalten wir für absolut schwarze Körper

$$t - t_0 = \sqrt[4]{\frac{4.s.J^2}{d^2.\pi.c.\pi.d}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{4.s.J^2}{c.a.\pi^2.d^3}},$$

und für blankes Platin:

$$t - t_0 = \sqrt[5]{\frac{4.s.J^2}{c.a\,\pi^2\,d^3}}.$$

Erfolgt der Wärmeverlust nicht durch Strahlung, sondern durch Leitung und bezeichnen wir den Wärmeleitungskoeffizienten mit a′, so ist ersterer unmittelbar der Temperaturdifferenz $t - t_0$ proportional, und wir erhalten:

$$t - t_0 = \frac{4\,s.J^2}{c.a.\pi^2.d^3},$$

oder, wenn wir

$$\frac{4\,s}{c.\pi^2} = C$$

setzen,

$$t - t_0 = C.J.$$

In diesem letzteren Falle, der den Verhältnissen im Innern eines geschlossenen Ofens annähernd entspricht, ist also die erzielbare Maximaltemperatur:

1. dem spezifischen Leitungswiderstande und
2. dem Quadrate der Stromstärke proportional;
3. dem Wärmetransmissionsvermögen und
4. dem Kubus der Drahtstärke umgekehrt proportional, endlich
5. von der Länge des Drahtes unabhängig.

Letzteres gilt allerdings für Öfen mit inneren Drahtwicklungen nur angenähert, weil hier neben der unmittelbaren Wärmeabgabe des Drahtwiderstands an den Ofen auch noch die Gesamtwärmeabgabe des Ofens nach außen in Betracht kommt.

Zur Erzeugung hoher Temperaturen in einem elektrischen Ofen ist somit das Vorhandensein eines genügend großen Wider-

standes erforderlich, und wir haben da hauptsächlich zu unterscheiden:

1. feste Widerstände (z. B. Drähte);
2. flüssige Widerstände (meist geschmolzene Körper) und
3. gasförmige Widerstände.

Der Widerstand gasförmiger Körper ist sehr bedeutend und wird daher auch sehr starke Wärmeentwicklungen bewirken. Freilich ist zu seiner Überwindung im allgemeinen ein Strom von hoher Spannung erforderlich und der Durchgang des elektrischen Stromes erfolgt in Gestalt des sogenannten elektrischen Licht- oder Flammenbogens.

Den ersten elektrischen Lichtbogen erhielt Humphrey Davy (1813) zwischen Holzkohlenelektroden mittels einer Volta'schen Säule von 2000 Elementen. Da sich die Holzkohlenelektroden jedoch sehr rasch abnützten, suchte man bald nach widerstandsfähigerem Materiale. 1844 schlug Foucault zu diesem Zwecke Retortenkohle vor, die zwar bedeutend dichter ist als Holzkohle, aber keine genügende Homogenität besitzt und beträchtliche Mengen Asche (namentlich SiO_2) als schädliche Beimengung enthält. Die Bestrebungen, künstliche Kohlenelektroden herzustellen, waren die Folge hievon.

1838—1840 gelang es Bunsen brauchbare Kohlenzylinder für seine Elemente herzustellen. 1846 nahmen Straite und Edwards ein Patent zur Herstellung von Lichtbogenkohlen nach einem Verfahren, das mit dem Bunsen'schen für Elementekohle identisch ist. 1849 verwendete Le Molt ein Gemenge von Kohlenstaub, der durch 30stündige Behandlung mit Säuren gereinigt worden war, mit Teer und Zuckersyrup. 1852 empfahlen Watson und Slater Holzreiser, die mit Kalk gereinigt wurden, mehrmals zu brennen und jedesmal in einer Lösung von Alaun in Melasse abzulöschen. 1857 verwendeten Lacassagne und Thiers Retortenkohle, die durch mehrfache Operation gereinigt wurde, während Jacquelain Teer benützte, der von der Destillation von Steinkohlen und bituminösen Schiefern stammte. Ungefähr zur selben Zeit empfahl Archereau eine Mischung von Kohlen und Magnesia und kam auf die Idee die Kohlenmasse zu komprimieren und zu Stäben auszupressen.

1876 erzielte Carré einen bedeutenden Fortschritt durch Anwendung kräftiger hydraulischer Pressen. Er benützte ein Gemenge von 15 Teilen sehr fein gemahlener Koke mit 5 Teilen gebranntem Ruß und 5—8 Teilen Zuckersyrup, dem etwas Gummi zugesetzt

wurde. Seinem Bruder E. Carré gelang es dann, Kohlen von beliebiger Länge und Stärke herzustellen.

Es würde zu weit führen, alle Vorschläge und Verbesserungen aufzuzählen, welche seither gemacht wurden. Es möge nur erwähnt werden, daß etwa bis zum Jahre 1886 elektrische Kohlen nur von wenigen Spezialfirmen hergestellt wurden, während gegenwärtig viele elektrometallurgische Etablissements ihre Kohlen selbst herstellen.

Zur Herstellung der Kohlen für Beleuchtungszwecke benützt man gegenwärtig Ruß, Retortenkoke, Petroleumkoke, Teer und für manche Zwecke Natronwasserglas. Ruß und Koke werden als unfühlbares Pulver verwendet und können mit Teer zusammengeknetet werden. Man erhält so Massen, die je nach der Kohlensorte, die man erzeugen will, wie folgt zusammengesetzt sind:

1. Qualität: Ruß 80%, Teer 20%;
2. „ Ruß 50%, Teer 20%, Retorten- oder Petroleumkoke 30%;
3. „ Ruß 30%, Teer 20%, Retorten- oder Petroleumkoke 50%.

Für Elektroden- und Batteriekohlen benützt man ein Gemenge von 80% Retorten- oder Petroleumkoke und 20% Teer, für Dynamobürsten ein Gemenge von 65 bis 70 Teilen Petroleumkoke, 10 bis 15 Teilen Graphit und 20 Teilen Teer, die Teermenge wird jedoch manchmal auf 25 bis 30% der Mischung erhöht.

Die Dichte der elektrischen Kohlen schwankt zwischen 1 und 2. Für Beleuchtungskohlen existieren zwei Typen: massive oder homogene Kohlen und Dochtkohlen; beide werden weich oder hart hergestellt.

Dochtkohlen besitzen ihrer ganzen Länge nach eine zentrale Höhlung, in welche man ein Gemenge von 80 bis 85% Kohle, 15% Natriumsilikat oder -Borat und 5% Wasser preßt.

Die scheinbare Dichte der Beleuchtungskohlen ist:

für weiche, homogene Kohlen	1·25 bis 1·30
„ „ Docht- „	1·16 „ 1·20
„ harte, homogene „	1·33
„ „ Docht- „	1·30
„ gewöhnliche Elektrodenkohlen (nach Street)	1·98
Kohlen für elektrische Öfen mit 85% Graphit (nach Street)	2·60

Der Leitungswiderstand von elektischen Kohlen schwankt je nach der Art des Brandes und der Qualität der verwendeten Masse zwischen 6000 und 8000 Mikroohms pro Zentimeter.

Die Kohlen für die Jablochkoff'schen Kerzen haben eine Dichte von 1·5 bis 1·7 und einen Widerstand von 70.000 Mikroohm/*cm*; bei einer Stromdichte von 50 Ampère beträgt der stündliche Verbrauch 10 *cm*.

Bezüglich des Volta-Bogens liegen, namentlich über die Beziehungen zwischen Leuchtkraft und Stromstärke, Widerstand, elektromotorische Kraft, Temperatur, sowie über Stromdichte und stündliche Abnützung zahlreiche Untersuchungen vor.

Man weiß, daß die Leuchtkraft des Lichtbogens von Kohlenstoffteilchen herrührt, welche sich von den Kohlenpolen loslösen, und — indem sie durch den Strom von einem Pole zum anderen geführt werden — sich zur Weißglut erhitzen.

Die zwei Stellen, wo der Strom in den Bogen ein-, bezw. aus demselben austritt, nehmen eine hohe Temperatur an; man benützt daher zur Bildung von Lichtbögen einen Körper, welcher diese hohe Temperatur aushält, ohne sich zu deformieren, was bei der Kohle in befriedigender Weise der Fall ist. Statt der Kohle kann man jedoch auch andere feuerfeste Materialien benützen, wie Magnesia, Kalk, Thoroxyd, Zirkonerde, etc, die man jedoch — um sie genügend leitend zu machen — vorher bis zur Rotglut erhitzen muß (Lampe von Rasch.*)

Bei den meisten Bogenlampen sind die Elektroden vertikal, und zwar so angeordnet, daß eine in die Verlängerung der anderen fällt; bei manchen Lampen haben sie jedoch auch eine horizontale Lage. Bei der Clerc'schen lampe soleil kommen alle möglichen Lagen der Kohlenelektroden vor. Bei der Bremer-Lampe liegen beide Elektroden in einer Vertikalebene und sind 20°—30° gegeneinander geneigt. Die Jablochkoff'schen Kerzen bestehen aus zwei vertikalen, zu einander parallelen Kohlenstiften, zwischen welchen sich ein Gemenge aus äquivalenten Mengen von $BaSo_4$ und $CaSo_4$ befindet, das sich ebenso rasch, wie die Kohlenektroden abnützen soll. Der Lichtbogen bildet sich hier zwischen den beiden oberen Enden der Kohlen.

Läßt man zwischen homogene Kohlenelektroden bei Gleichstrom einen Lichtbogen sich bilden, so spitzt sich die negative Elektrode zu, während die positive Elektrode eine kraterartige Vertiefung erhält. Bei Dochtkohlen zeigen beide Elektrodenenden das gleiche Aussehen; hingegen lassen sich am Lichtbogen selbst deutlich zwei verschiedene Zonen unterscheiden: eine sehr regelmäßig gestaltete zentrale Zone, die von einem Dochte zum anderen reicht,

---

Elektrotechnische Zeitschrift, 1901, 14. Februar.

und eine äußere, hellere, ohne Zweifel auch wärmere Zone, welche durch die Flächen der Kohlen begrenzt wird.

Wahrscheinlich besteht die äußere Zone aus Kohlenstoffdampf, welchem sich die Dämpfe jener Stoffe beimischen, die den Docht bilden und die in der zentralen Zone verflüchtigt werden.

Die Leuchtkraft des Vollkohlenlichtbogens verhält sich — bei gleicher Stromstärke — zu jener des Dochtkohlenbogens wie 160 zu 140 oder wie 8 : 7.

Unter elektromotorischer Kraft eines Lichtbogens versteht man die Potentialdifferenz zwischen beiden Elektroden.

Wenn man die Stromstärke allmälich vergrößert und gleichzeitig den Querschnitt der Kohlen so verkleinert, daß die Stromdichte konstant bleibt, so bleibt auch die elektromotorische Kraft E nahezu gleich oder vergrößert sich höchstens ein wenig. Der Widerstand des Bogens verringert sich also mit wachsender Stromstärke.

Verhalten sich die Dämpfe, welche den Lichtbogen bilden, wie Leiter 1. Klasse, d. h. treten in demselben keine elektromotorischen Gegenkräfte auf, kann also das Ohm'sche Gesetz auf denselben angewendet werden, so verhalten sich, weil E konstant bleibt, die Widerstände wie die Stromstärken:

$$E = r J = r' J' = r'' J'' = \dots$$

$$r : r' : r'' = \frac{1}{J} : \frac{1}{J'} : \frac{1}{J''}.$$

Das ist jedoch beim Voltabogen nicht der Fall und Versuche von Preece ergaben, daß sich der Widerstand im Lichtbogen mit wachsender Stromstärke bedeutend verringert. Er fand:

Stromstärke	Widerstand
10 Ampère	2·77 Ohm
21·5 „	1·077 „
38·12 „	0·54 „

Der Widerstand des Bogens verringert sich somit weit rascher, als die Stromstärke steigt, was nur durch das Auftreten von elektromotorischen Gegenkräften (Polarisation) erklärt werden kann. Es müssen also innerhalb des Lichtbogens (physikalische oder chemische) Veränderungen eintreten, welche, wie auch sonst, das Auftreten von Gegenspannungen verursachen. Bezeichnen wir letztere mit e, so ist $E = e + r J$.

Im Jahre 1871 erkannte Eklund die Existenz einer derartigen Gegenkraft im Lichtbogen und stellte für die Potentialdifferenz beider Elektroden die Gleichung

$$E = e + b i l$$

auf, in welcher b eine Konstante und l die Länge des Bogens bedeutet. Da diese Formel nicht strenge gültig ist, wurden noch andere in Vorschlag gebracht, so von S. P. Thompson:

$$E = e + \frac{b.i}{l},$$

und von Cross und Shepart:

$$E = ei + bi\,l.$$

Während diese Gleichungen für eine gegebene Disposition, wie Duncan, Rowland und Dodd gezeigt haben, recht gut anwendbar sind, gilt dies nicht mehr, wenn sich die Versuchsbedingungen ändern, wenn wir es also mit anderen Stromdichten oder anderen Elektroden zu tun haben. Nach den Untersuchungen der eben Genannten ist die Entstehung der fraglichen Gegenkraft auf zwei Ursachen zurückzuführen: auf die Verdampfung der positiven Kohle und auf thermoelektrische Wirkungen der Kette: Kohlendampf + Kohle fest (oder halbflüssig).

Aus den zahlreichen vorliegenden Untersuchungen ergeben sich folgende Schlüsse:

1. Die im Lichtbogen auftretende Polarisation hat zwei Quellen: die durch Verdampfung der Kohle entstehende elektromotorische Kraft, die von der Bogenlänge, der Stromstärke und den Dimensionen der Kohlen unabhängig ist, sich aber mit dem Drucke ändert*), und eine thermoelektrische Gegenkraft, welche von der Bogenlänge, dem Strome, den Kohlendimensionen und dem Drucke abhängig sein kann.

2. Dies führt zu der Gleichung:

$$E = e + f(l)\,f(i) + b\,f(l)\,f(i).$$

3. Wenn bei wachsender Stromstärke der Querschnitt des Lichtbogens sich vergrößert, so verringert sich gleichzeitig sein Widerstand.

4. Mit wachsender Stromstärke wächst auch die Bogenspannung bis zu einem gewissen Werte, um dann konstant zu bleiben oder selbst wieder abzunehmen; dies rührt wahrscheinlich von der Verringerung der thermoelektrischen Gegenkraft bei Erhitzung der negativen Kohle und von der Verkleinerung des Widerstandes her.

5. Die Bogenspannung wächst mit dem Drucke.

*) Bei freiem Lichtbogen, d. i. unter Athmosphärendruck, ist diese Größe also konstant.

6. Die elektromotorische Gegenkraft scheint mit dem Drucke zu wachsen, während sich der Widerstand nicht viel verändert.

Guye*) und Monasch**) haben die Beziehung zwischen Bogenlänge und Elektrodenspannung bei verschiedenen Stromstärken bis zu Elektrodenentfernungen von 11 *mm* für Metallelektroden ermittelt und gefunden, daß sich dieselben in einem rechtwinkeligen Koordinatensystem durch gerade Linien darstellen lassen. Weitere Untersuchungen von Grau und Russ***) ergaben für Hochspannungsbögen bis 100 *mm* Bogenlänge folgende Werte:

Bogen zwischen horizontalen Platinelektroden.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·03 Ampère	5050	6250	7200	8050	9000	—
0·04 "	4800	5800	6700	7600	8400	9200
0·05 "	4600	5550	6400	7200	8000	8800
0·06 "	4400	5300	6100	6900	7700	8500
0·07 "	4250	5050	5850	6600	7300	8100
0·08 "	4100	4900	5650	6400	7100	7850
0·09 "	4000	4800	5550	6250	6950	7700
0·10 "	3900	4700	5450	6150	6850	7600

Bogen zwischen horizontalen Silberelektroden.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·04 Ampère	4700	5600	6500	7300	8250	9200
0·05 "	4450	5300	6150	6950	7750	8650
0·06 "	4250	5000	5850	6550	7300	8150
0·07 "	4100	4800	5550	6250	6950	7700
0 08 "	3900	4600	5250	5950	6650	7400
0·09 "	3800	4400	5050	5650	6350	7100
0·10 "	3650	4250	4850	5500	6200	6900

*) Eclairage Elect., 34, 305 (1903).

**) „Der elektrische Lichtbogen", p. 76—78, Berlin. 1904.

***) Ber. d. k. Ak. d. W. 115, Dezember 1906.

Bogen zwischen horizontalen Kupferelektroden.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·04 Ampère	4900	5800	6700	7500	8250	9050
0·05 "	4700	5550	6350	7200	7900	8600
0·06 "	4450	5300	6150	6900	7550	8300
0·07 "	4250	5100	5900	6650	7300	8000
0·08 "	4150	4950	5700	6400	7050	7700
0·09 "	4000	4750	5500	6200	6800	7450
0·10 "	3900	4600	5300	6000	6550	7300

Bogen zwischen horizontalen Nickelelektroden.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·04 Ampère	4800	5650	6500	7350	8100	8850
0·05 "	4550	5350	6250	7050	7800	8550
0·06 "	4300	5100	5950	6800	7550	8250
0·07 "	4100	4900	5700	6500	7250	7950
0·08 "	3900	4650	5500	6300	7000	7700
0·09 "	3800	4500	5300	6100	6800	7400
0·10 "	3650	4350	5100	5850	6500	7200

Bogen zwischen horizontalen Zinkelektroden.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·04 Ampère	4700	5600	6400	7150	7900	8800
0·05 "	4400	5250	6100	6800	7550	8400
0·06 "	4150	5000	5750	6500	7250	8000
0·07 "	3900	4700	5500	6200	6900	7650
0·08 "	3750	4500	5200	5900	6600	7300
0·09 "	3550	4250	4900	5650	6300	6950
0·10 "	3350	4000	4650	5400	6000	6600

Mit wachsender Stromstärke fallen somit die zugehörigen Spannungswerte, so daß man bei entsprechender Erhöhung des Stromes in den Bereich der sogenannten „Niederspannung" gelangen kann.

Trägt man diese Werte in ein rechtwinkeliges Koordinatennetz (Spannung und Bogenlänge als Koordinaten) ein, so erhält man für gleiche Stromstärken gerade Linien.

Um genauere Messungen zu erlangen, als beim horizontalen Lichtbogen*) möglich war, wurden die Versuche mit vertikalem Lichtbogen an freier Luft sowohl, als in ein Quarzrohr eingeschlossen**) wiederholt.

Vertikaler Bogen zwischen Platinelektroden an freier Luft.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern					
	5	6	7	8	9	10
0·03 Ampère	4200	4950	5650	6300	6900	7500
0·04 „	3750	4450	5100	5750	6300	6850
0·05 „	3400	4050	4650	5250	5750	6250
0·06 „	3150	3700	4250	4800	5250	5750
0·07 „	2850	3400	3900	4400	4850	5300
0·08 „	2650	3150	3650	4100	4500	4900
0·09 „	2500	2950	3400	3850	4200	4550

Vertikaler Bogen zwischen Silberelektroden in freier Luft.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern			
	5	6	7	8
0·03 Ampère	4050	4800	5500	6200
0·04 „	3650	4300	4950	5550
0·05 „	3400	3900	4450	5000
0·06 „	3200	3650	4100	4550

Vertikaler Bogen zwischen Nickelelektroden in freier Luft.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern				
	5	6	7	8	9
0·03 Ampère	4200	4900	5500	6100	6800
0·04 „	3750	4400	5000	5550	6150
0 05 „	3400	4000	4550	5050	5600
0·06 „	3150	3650	4150	4600	5150

*) Weil das Flackern desselben eine ruhige Einstellung des elektrostatischen Voltmeters unmöglich machte. — **) Um das Flackern ganz zu vermeiden.

Vertikaler Bogen zwischen Platinelektroden im Quarzrohre.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern		
	5	6	7
0·03 Ampère	4350	5050	5900
0·04 "	3950	4600	5400
0·05 "	3650	4250	5000
0·06 "	3400	3900	4600
0·07 "	3150	3650	4250
0·08 "	2950	3400	3900
0·09 "	2800	3200	3700

Vertikaler Bogen zwischen Silberelektroden im Quarzrohre.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern	
	5	6
0·03 Ampère	4150	4900
0·04 "	3750	4500
0·05 "	3400	4050
0·06 "	3150	3750

Vertikaler Bogen zwischen Nickelelektroden im Quarzrohre.

Spannung in Volt bei	Elektrodendistanz in Zentimetern	
	5	6
0·04 Ampère	3750	4500
0·05 "	3400	4150
0·06 "	3200	3850

Aus Stromstärke und Spannung im Hochspannungsbogen lassen sich die zur Wirksamkeit kommenden Volt-Ampère (Watt) leicht berechnen. Die im Flammenbogen tatsächlich verbrauchten Effekte sind jedoch, wie Heubach*) 1892 bei Wechselstromlichtbögen niederer Spannung und bei Verwendung von Homogenkohlen nachwies, weit kleiner, als die so berechneten, was er auf eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung zurückführte.

*) Elektrotechn. Zeitschr. 1892, p. 460.

Duddell und Marchant*) suchen hingegen die Ursache dieser Erscheinung in einer Deformation der Strom- und Spannungskurven. Bei Lichtbogen zwischen Metallelektroden mit hoher Spannung haben Guye und Monasch für Kupferelektroden die scheinbaren und tatsächlichen Watt bis zu Bogenlängen von 10 *mm* für verschiedene Stromstärken bestimmt und fanden für das Verhältnis $\frac{\text{Watt}}{\text{Volt-Ampère}}$ nahezu 0·6. Ungefähr denselben Wert 0·66 bis 0·58 fanden auch Grau und Russ**) bei vertikalen in ein Quarzrohr eingeschlossenen Bögen zwischen Platinelektroden bei Bogenlängen von 45 bis 55 *mm* Länge.

Die Temperatur des positiven Kohlenpoles im Lichtbogen ist bedeutend höher, wie jene des negativen Poles. Zahlreiche Untersuchungen ergaben als Maximaltemperaturen:

am positiven Pole . . . . 3500° C
„ negativen „ . . . . 3100° C.

Über die Temperatur des Bogens selbst und ihre Beziehungen zur Stromstärke liegen nur wenig Beobachtungen vor. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Bei konstanter Stromdichte, d. h. wenn sich der Querschnitt der Elektroden proportional der Stromstärke ändert, wird aller Warscheinlichkeit nach die Temperatur des Bogens von der Stromstärke unabhängig sein;

b) Bei konstantem Querschnitte der Elektroden hingegen, d. h. wenn sich die Stromdichte proportional der Stromstärke ändert, ist wohl nicht zu bezweifeln, daß mit der Stromstärke auch die Temperatur des Bogens wachsen wird.

Die Leuchtkraft des Lichtbogens ändert sich mit der Stromstärke, wie folgende Zahlen zeigen:

Lichtstärke in		Kraftbedarf
Carcellampen	Kerzen	in P. S.
300	3000	3
150	1500	1·5
30	300	0·5

Es verdient Erwähnung, daß beim Wechselstromlichtbogen nach den Betrachtungen von Grau und Ruß neben der kalorischen auch noch eine Luminiszenzwirkung eintritt, so daß Temperaturmessungen mittels optischer Pyrometer nicht ausführbar erscheinen.

*) Inst. El. Ing. 28. p. 86 (1899).
**) l. c.

Die Abnützung der Kohlen an den Polen eines Lichtbogens hängt von der Stromdichte ab, die an den beiden Polen eine verschiedene ist, wenn der Lichtbogen durch einen Gleichstrom gespeist wird. Sie ist an der positiven Kohle weit kleiner, als an der negativen, weil sich letztere etwa zweimal so rasch abnützt, als erstere. Um eine ungefähr gleiche lineare Abnützung beider Kohlen zu erzielen, gibt man daher der negativen einen etwa doppelt so großen Querschnitt, als der positiven Kohle.

Die elektrischen Öfen lassen sich in folgender Weise übersichtlich gruppieren:

A. Öfen **ohne** Elektroden:

a) Die Erwärmung erfolgt durch Widerstandserhitzung von außen, indem das zu erhitzende Gefäß außen mit einem Widerstand umgeben ist, der von einem Strom durchflossen und so erhitzt wird. Hiebei verwendet man:

α) entweder einen dünnen, draht- oder blattförmigen Leiter, der um das zu erhitzende Gefäß in spiralförmigen Windungen herumgeht (elektrische Tiegel-, Muffel- und Verbrennungsöfen) oder

β) einen porösen schlechten Leiter, der um das zu erhitzende Gefäß locker aufgeschichtet ist und durch welchen der Strom, selben erwärmend, hindurchgeht (Kryptolöfen).

b) Die Erwärmung erfolgt durch Widerstandserhitzung im Innern des Schmelzgutes. Hiebei wird der elektrische Strom im ringförmig angeordneten Schmelzmateriale durch Induktion hervorgerufen; der Ofen arbeitet also als Transformator (Öfen von Ferranti, Kjellin*) u. a.).

B. Öfen **mit** Elektroden:

a) Die Erwärmung erfolgt nur durch Widerstandserhitzung, indem die beiden Elektroden mit den zu erhitzenden Substanzen in unmittelbarer Berührung stehen.

b) Die Erwärmung erfolgt hauptsächlich durch einen Lichtbogen, indem eine oder beide Elektroden mit dem Schmelzgute nicht in unmittelbarer Berührung stehen, so daß zwischen Elektroden und Schmelzgut ein Flammenbogen gebildet wird.

Die Anlage aller dieser Ofenarten ist natürlich, je nach dem speziellen Zwecke, dem sie dienen sollen, eine sehr verschiedene, doch kann hier nicht näher darauf eingegangen werden, indem die wichtigsten Typen dieser Öfen a. a. O. (Chemische Technologie anorganischer Stoffe) eine Besprechung finden werden.

---

*) Technologie d. Energien, I, 2. p. 199.

IV. Kapitel.

Elektrische Ströme.

Bei elektrischen Strömen lassen sich zwei verschiedene Fälle unterscheiden:

In dem in Fig. 199 dargestellten Falle geht der Strom von der Elektrizitätsquelle P (hier einer galvanischen Batterie) aus und durchfließt den aus einem Leiter I. Klasse bestehenden Widerstand R. Um die Stromstärke messen zu können, ist in den Stromkreis das Galvanometer G eingeschaltet.

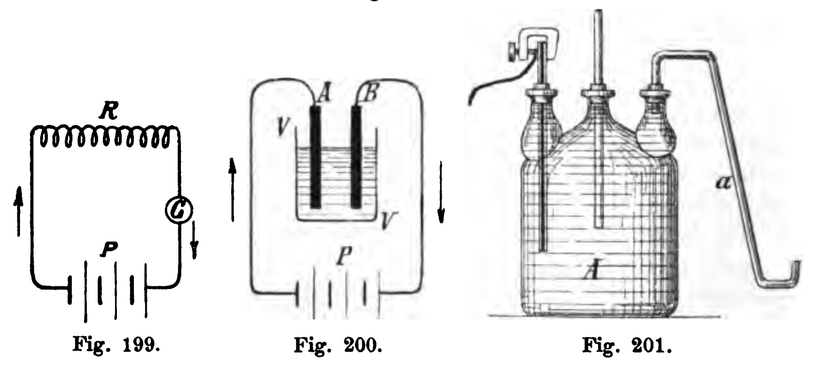


Fig. 199. Fig. 200. Fig. 201.

Fig. 200 hingegen stellt zwei elektrische Systeme dar, die durch metallene Leitungsdrähte miteinander verbunden sind. Das System P ist eine galvanische Batterie, das System V V aber ein elektrolytischer Apparat. Im dargestellten Beispiele ist die elektromotorische Kraft der Batterie größer, als die elektromotorische Gegenkraft des elektrolytischen Apparates. Der Strom geht somit durch den Elektrolysenapparat hindurch und die beiden einander entgegengesetzten Systeme befinden sich in dynamischem Zustande. Ist hingegen die elektromotorische Kraft der Batterie genau eben so groß, wie die elektromotorische Gegenkraft des Elektrolysenapparates, aber von entgegengesetztem Vorzeichen, so befinden sich beide Systeme im Gleichgewichte und das System daher im statischen Zustande.

Für Meßzwecke braucht man Elektroden von bestimmten elektrischen Eigenschaften; man nennt sie Normalelektroden. Sie sind aus demselben Metalle hergestellt, das auch in dem Salze enthalten ist, in dessen Lösung sie eintauchen. Die wichtigsten derselben sind folgende:

Normalelektrode von Ledeboer (Fig. 201). Sie besteht aus einer dreihalsigen Flasche A, die ebenso, wie die Ableitungs-

röhre a, vollständig mit Salzlösung gefüllt ist. Nimmt man zwei darartige normale Elektroden, deren eine aus Kupfer und Kupfervitriollösung, deren andere aber aus Zink und Zinkvitriollösung besteht und taucht die Enden beider Ableitungsröhren in Wasser oder eine andere leitende Flüssigkeit, so erhält man ein Daniellelement. Kommt das Element außer Gebrauch, so hebt man beide Flaschen getrennt auf, indem man die Ableitungsröhren in dieselben Flüssigkeiten taucht, mit denen die Flaschen gefüllt sind. Die bei diesen Elektroden verwendeten Lösungen sind konzentriert.

Normalelement von Crova und Garbe (Fig. 202). In dem einen Arme der U-förmigen Röhre, die mit einer bei 0° ge-

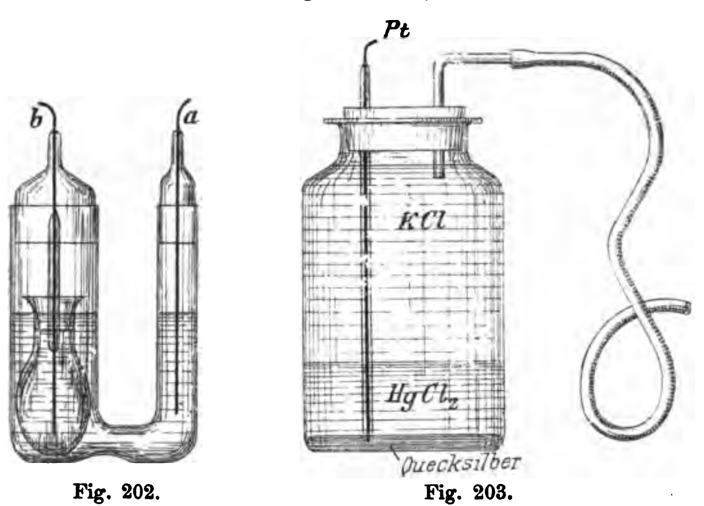


Fig. 202. Fig. 203.

sättigten Kupfervitriollösung gefüllt ist, befindet sich ein eigentümlich geformtes Gefäß aus Kaliglas, das also sehr hygroskopisch ist, und in welchem sich eine bei 0° gesättigte Lösung von Zinkvitriol befindet. Da beide Flüssigkeiten nicht bis zum Rande dieses Gefäßes hinaufreichen, ist zwischen beiden keine andere Verbindung als durch die am Kaliglase niedergeschlagene Feuchtigkeitsschicht möglich. In die beiden Flüssigkeiten taucht bei a ein amalgamierter Zinkstab, bei b ein Kupferstab, die in die eingeschliffenen Glasstöpsel eingekittet sind.

Unter diesen Umständen können sich die beiden Lösungen nicht durch Diffusion vermischen und man erhält ein Element von großem Widerstande und unveränderlicher elektromotorischer Kraft.

Die Elemente von Ledeboer und Crova-Garbe sind sehr konstant und genügt eine einmalige Bestimmung ihrer elektro-

motorischen Kraft, um diese Elemente als Normalelement zur Messung anderer benützen zu können.

Normalelektrode von Ostwald (Fig. 203). Dieser zur Messung der bei Berührung von festen und flüssigen Körpern auftretenden elektromotorischen Kräfte bestimmte Apparat, besteht aus einer Flasche, deren Boden mit Quecksilber bedeckt ist, über welchem sich eine gesättigte Lösung von $HgCl_2$ befindet. Der übrige Raum der Flasche, sowie das Ableitungsrohr und der an letzterer befindliche Kautschukschlauch sind mit $\frac{n}{10}$ KCl-Lösung gefüllt, welche dazu dient, den Kontakt mit der zweiten Elektrode, beziehungsweise der dazugehörigen Lösung in gleicher Weise wie bei der Normalelektrode von Ledeboer herzustellen. Einige Krystalle von $HgCl_2$, welche man in die Flasche bringt, sichern die Sättigung der $HgCl_2$-Lösung.

In die Quecksilberelektrode taucht zur Stromableitung ein Platindraht, der — um ihn von der $HgCl_2$-Lösung zu isolieren — in ein Glasrohr eingeschmolzen ist.

Elektromotorische Kräfte, welche bei der Berührung von festen Körpern und Flüssigkeiten oder von zwei Flüssigkeiten auftreten:

a) Elektromotorische Kräfte bei Berührung von festen und flüssigen Körpern.

Die scheinbaren elektromotorischen Kräfte, welche bei nicht geschlossenem Stromkreise auftreten, wenn sich feste und flüssige Körper berühren, sind von derselben Größenordnung, wie jene bei Berührung zweier fester Körper.

Zahlreiche Untersuchungen über die elektrischen Spannungen, welche beim Eintauchen eines Metalles in die Lösung eines seiner Salze auftreten, liegen vor. Man benützt hiezu folgende Methode: Eine Ostwald'sche Normalelektrode wird mit einem Systeme in Kontakt gebracht, das aus einem Metalle besteht, welches in die Lösung eines seiner Salze taucht, worauf man die Spannung des kombinierten Systems bestimmt. Zu diesem Zwecke bringt man das freie Ende der Normalelektrode so in diese Lösung, daß sich die Flüssigkeiten beider Systeme berühren. Hiedurch erhält man ein galvanisches Element mit zwei Flüssigkeiten, das einen Strom liefert, sobald man den Kreis schließt.

Die Potentialdifferenz zwischen Quecksilber und Flüssigkeit der Normalelektrode beträgt $\varepsilon = 0{\cdot}56$ Volt. Ist e die direkt am

offenen Elemente gemessene Potentialdifferenz und x die gesuchte Spannung zwischen Metall und Salzlösung, so ist

$$e = x - \varepsilon$$

oder

$$x = e + \varepsilon$$
$$= e - 0{\cdot}56$$

Hiebei wird die Potentialdifferenz zwischen den beiden Flüssigkeiten des Systemes, die nur einen sehr kleinen Wert besitzt, vernachlässigt.

Nach dieser Methode erhielt Neumann folgende Werte:

Potentialdifferenzen zwischen Metallen und den Lösungen eines ihrer Salze (Neumann).

Metalle	Die Lösung enthält pro Liter 1 Mol.			
	Sulfat	Chlorid	Nitrat	Acetat
Magnesium	+ 1·239	+ 1·231	+ 1·060	+ 1·240
Aluminium	+ 1·040	+ 1·015	+ 0·775	—
Mangan	+ 0·815	+ 0·824	+ 0·560	—
Zink	+ 0·524	+ 0·503	+ 0·473	+ 0·522
Kadmium	+ 0·162	+ 0·174	+ 0·122	—
Eisen	+ 0·093	+ 0·087	—	—
Kobalt	— 0·019	— 0·015	— 0·078	— 0·004
Nickel	— 0·022	— 0·020	— 0·060	—
Zinn	—	— 0·085	—	—
Blei	—	— 0·095	— 0·115	— 0·079
Wasserstoff	— 0·238	— 0·249	—	— 0·150
Wismut	— 0·490	— 0·315	— 0·500	—
Antimon	—	— 0·376	—	—
Arsen	—	— 0·559	—	—
Kupfer	— 0·515	—	— 0·615	— 0·580
Quecksilber	— 0·980	—	— 1·028	—
Silber	— 0·974	—	— 1·055	— 0·991
Palladium	—	— 1·066	—	—
Platin	—	— 1·140	—	—
Gold	—	— 1·356	—	—

Dort, wo die elektrischen Spannungen zwischen einem Metall und seinen verschiedenen Salzen untereinander abweichen, liegt die Ursache darin, daß die Salzlösungen nicht vollständig oder doch nicht gleichmäßig dissoziiert sind.

Bemerkungen:

1. Die Potentialdifferenz zwischen einem Metalle und der Lösung eines seiner Salze variiert mit der Konzentration. So findet man für Zink und Zinksulfat folgende Werte:

Dichte der $ZnSO_4$-Lösung	Spannung
D = 1·125 bei 16·9° C	0·238 Volt
gesättigt „ 15·3° C	0·43 „
1 Wasser + 3 gesättigte Lösung .	0·444 „

2. Die wahre elektromotorische Kraft zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten ist jene Spannung, welche im geschlossenen Stromkreise bei eingeschaltetem Widerstande auftritt. Ihr Wert ist zwar nicht immer gleich der scheinbaren Spannung, doch weichen beide Werte nie bedeutend von einander ab.

Thermoelektrische Erscheinungen an der Berührungsstelle von Metall und Elektrolyt. Taucht man zwei ungleich warme Platinstreifen in irgend eine Flüssigkeit, so entstehen thermoelektrische Spannungen (Walker).

Versuche mit verschiedenen Metallen haben die Existenz wirklicher elektromotorischer Kräfte nachgewiesen, die mit der Temperaturdifferenz der beiden Elektroden wachsen. Bald ist es das warme, bald das kalte Metall, dessen Außenende den positiven Pol des Thermoelementes bildet.

Den rein thermoelektrischen Charakter dieser Ströme hat Edm. Becquerel 1866 nachgewiesen.

Bouty hat den Fall eingehend studiert, daß zwei Elektroden aus demselben Metalle und von gleichen Dimensionen, aber ungleicher Temperatur in die Lösung eines ihrer Salze tauchen. Er fand, daß — wenn die Metalle durch die Lösung nicht angegriffen werden — die elektromotorische Kraft innerhalb der Versuchsgrenze der Temperaturdifferenz proportional wächst.

Diese elektromotorische Kraft ist im allgemeinen von der Konzentration der Lösung (wenn selbe nur nicht zu verdünnt ist) und von der Natur des Anions unabhängig.

Die folgende Tabelle gibt die 1° Temperaturdifferenz entsprechenden elektromotorischen Kräfte $\frac{d\varepsilon}{dT}$:

Kupfersulfat	gegen Cu . .	$\frac{d\varepsilon}{dT}$	= 0·000757
Kupferacetat	„ Cu . .		= 0·000774
Zinkchlorid (D = 1·05 bei 1·5° C	gegen Zn . .		= 0·000766

Zinksulfat	gegen	Zn . .	= 0·000762
Zinknitrat	„	Zn . .	= 0·000762
Zinkacetat	„	Zn . .	= 0·000832
Kadmiumchlorid	„	Cd . .	= 0·000677
Kadmiumsulfat	„	Cd . .	= 0·000658
Kadmiumnitrat	„	Cd . .	= 0·000097
Platinchlorid	„	Pt . .	= 0·000808
Quecksilbernitrat	„	Hg . .	= 0·000154
Goldchlorid	„	Au . .	= 0·000026

Die in vorstehender Tabelle auftretenden Abweichungen für ein und dasselbe Metall rühren, ebenso wie früher, von unvollständiger oder ungleicher Dissoziation der benützten Lösungen her.

Diese thermoelektrischen Wirkungen an der Berührungsstelle zwischen Metall und Salzlösung sind ebenso wie bei der Berührung zweier fester Körper umkehrbar; es wird somit auch hier ein Peltier-Effekt auftreten.

b) Elektromotorische Kräfte zwischen zwei sich berührenden Flüssigkeiten.

Wenn sich zwei Flüssigkeiten verschiedener Art oder auch solche gleicher Art, aber verschiedener Konzentration berühren, so treten entweder (bei offenem Stromkreise) scheinbare, oder (bei geschlossenem Strome) wahre elektromotorische Kräfte auf. Letztere sind in dem Augenblicke meßbar, wenn der Stromkreis durch einen Widerstand geschlossen wird. Die Größe des Widerstandes wählt man so, daß die Stromstärke sehr klein wird. Dann kann man annehmen, daß der Wert der wahren elektromotorischen Kraft der Potentialdifferenz zwischen beiden Flüssigkeiten gleich wird, wenn das System in Tätigkeit ist. Bezeichnen wir diese Potentialdifferenz mit E, die wahre elektromotorische Kraft mit e, den Widerstand zwischen den beiden Punkten, zwischen welchen E bestimmt wurde, mit ρ und die Stromstärke mit i, so ist

$$e = E \pm \rho i.$$

Sind nun ρ und i sehr klein, so kann das Produkt $\rho . i$ vernachlässigt werden und man erhält mit großer Annäherung:

$$e = E.$$

Scheinbare elektromotorische Kraft zwischen zwei Flüssigkeiten.

Wasser mit $\frac{1}{10}$ Vol. H_2SO_4 angesäuert	Lösung von Na_2SO_4 (1 : 10) .	+0·146
Essigsäure, gewöhnliche . .	„ „ Na_2SO_4 (1 : 25) .	+0·677
„ „ . .	Wasser mit $\frac{1}{10}$ Vol. H_2SO_4 angesäuert	+0·544
Reine Salzsäure des Handels	normale Lösung von Na_2SO_4	+0·575
100 *g* KOH + 500 *g* H_2O .	„ „ „ Na_2SO_4	—0·052
300 *g* KOH + 500 *g* H_2O .	„ „ „ Na_2SO_4	—0·154
$CuSO_4$ bei 15° C gesättigt .	gesättigte $ZnSO_4$-Lösung .	+0·095
Quecksilber	Amalgam	+0·02
Mercurosulfat-Paste	Quecksilber	+0·475

Wahre elektromotorische Kraft zwischen zwei Flüssigkeiten (Pellat).

Angesäuertes Wasser (1 : 10)	Natriumsulfat (1 : 10) . . .	—0·225
Kalilauge (3 : 5)	„	—0·536
Quecksilber	Zinkamalgam	+0·49

Auch zwischen zwei Flüssigkeiten treten thermoelektrische Spannungen auf, doch sind dieselben viel kleiner als in den früher besprochenen Fällen.

Ganz analog dem oben Besprochenen verhalten sich auch geschmolzene Körper gegen feste und gegeneinander.

V. Kapitel.

Elektrochemische Fundamentalgesetze (Leitungswiderstand und Leitvermögen).

Die elektrochemischen Grundgesetze beziehen sich einerseits auf den Vorgang der Elektrizitätsleitung in Elektrolyten (Leiter II. Klasse), anderseits aber auf die verschiedenen physikalischen und chemischen Erscheinungen, welche damit im Zusammenhange stehen.

A. Widerstand und Leitfähigkeit.

a) Leiter der I. Klasse: Die folgende Tabelle gibt die Größe des Leitungswiderstandes der gebräuchlichsten Metalle und Legierungen, sowie von Elektrodenkohle:

Körper	Spezifischer Leitungswiderstand in Mikroohmzentimeter	Widerstand in Mikroohm bei 1 *m* Länge			Änderung d. Leitungswiderstandes für 1 bis 20° α
		Querschnitt = 1 mm^2	Durchmesser = 1 *mm*	Gewicht = 1 *g*	
Silber, ausgeglüht .	1·460	0·0146	0·01859	0·1523	0·00377
„ gehämmert .	1·585	0·01585	0·02019	0·1659	—
Kupfer, ausgeglüht	1·584	0·01584	0·02017	0·1421	0·00388
„ gehämmert	1·629	0·01619	0·02062	0·1449	—
Gold, ausgeglüht .	2·088	0·02088	0·02659	0·4026	0·00365
„ gehämmert .	2·125	0·02125	0·02706	0·4094	—
Aluminium	2·906	0·02906	0·03890	0·0747	0·00390
Zink, gegossen . .	5·613	0·05613	0·07146	0 4012	0·00365
Platin	9·039	0·09035	0·11500	1·9340	0·00247
Eisen	9·693	0·09693	0·12340	0·7551	0·00365
Nickel	12·360	0·1231	0·1573	—	0·00618
Zinn, gepreßt . . .	13·180	0·1318	0·1678	0·9608	0·00365
Blei	19·140	0·1914	0·2437	2·227	0·00387
Antimon	35·400	0·3540	0·4510	2·379	0·00389
Wismuth	130·900	1·309	1·667	12·860	0·00357
Quecksilber. . . .	94·07	0·9407	1·1980	12·790	0·00073
2 Platin + 2 Silber	24·330	0·2433	0·3098	2·919	0·00031
Neusilber.	20·89	0·2089	0·2660	1·825	0·00044
2 Gold + 2 Silber	10·84	0·1084	0·13800	1·646	0·00065
Elektrodenkohle . .	7000	70·00	112·15	—	—

Die zweite Kolumne gibt den Leitungswiderstand in Mikroohms (= 0·00001 Ohm), die folgenden drei Kolumnen den Leitungswiderstand pro 1 *m* Länge und verschiedenen Dimensionen, die letzte Kolumne aber die Änderung des bei 20° gemessenen Widerstandes bei 1° Temperaturänderung.

Ist r der Widerstand eines Leiters bei t° und α die Änderung desselben für 1° Temperaturänderung, so ist der Widerstand R bei der Temperatur T

$$R = r\,[1 + \alpha\,(T - t)].$$

Für t = 0° vereinfacht sich diese Gleichung zu

$$T = r\,[1 + \alpha\,T].$$

b) Leiter der II. Klasse oder Elektrolyten.

Unter den Konstanten, die sich auf die Leitfähigkeit von Elektrolyten beziehen, ist die molekulare Leitfähigkeit (μ) derselben von besonderem Interesse, weil sich aus dieser alle übrigen mittels einfacher Gleichungen leicht berechnen lassen.

Die Grundlage, auf welcher sich alle unsere modernen Anschauungen über die Leiter der II. Klasse aufbauen, bildet die von Van 't Hoff gefundene Analogie zwischen Gasen und Lösungen. Dieselbe läßt sich kurz in folgender Weise ausdrücken:

1. Alle Gase können als Lösungen der betreffenden Stoffe in Lichtäther aufgefaßt werden, so daß zwischen einer beliebigen Lösung im gewöhnlichen Sinne nur in bezug auf das Lösungsmittel ein Unterschied besteht. Die Moleküle des gelösten Körpers bewegen sich im Innern der Lösung gerade ebenso, wie die Gasmoleküle im sie umgebenden Äther. Die Zulässigkeit dieser Annahme wurde von Van't Hoff nachgewiesen.

2. Ein Gas übt auf die Gefäßwände, in welches es eingeschloßen ist, einen gewissen Druck aus. Nach dem Vorstehenden muß auch der gelöste Körper einen eben solchen Druck auf die Gefäßwände ausüben, in welchen sich die Lösung befindet; man bezeichnet denselben als osmotischen Druck.

4. Die Untersuchungen von Pfeffer, Van't Hoff und von Raoult haben die völlige Idensität zwischen osmotischem Druck und Gasdruck nachgewiesen: Die Moleküle eines in einer Flüssigkeit gelösten Körpers üben genau denselben Druck auf die Gefäßwände aus, als wenn sie als Gas in dem gleichen Raume enthalten wären.

Die Gasgleichung

$$P V = R T$$

gilt also ebenfalls auch für Lösungen. In derselben ist P der Druck in Grammen pro 1 cm^2, V das Volumen in Kubikzentimetern, R = 84700 *), die Gaskonstante und T die absolute Temperatur.

Viele Lösungen folgen jedoch diesem Gesetze nicht, indem ihr osmotischer Druck größer ist, als er sich nach dieser Gleichung berechnen würde.

Van't Hoff hat nun gezeigt, daß sich auch diese Körper dem Gasgesetze unterordnen, wenn man annimmt, daß die Stoffe in derartigen Lösungen dissociiert sind.

Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß die Abweichungen zwischen dem aus Molekulargewicht und Gasgesetzen berechneten und dem wirklichen osmotischen Drucke einer Lösung um so größer werden, je stärker man die Lösung verdünnt. Wir können also sagen, daß die Dissoziation der gelösten Stoffe mit der Verdünnung wächst. Bei einer gewissen Verdünnung erreicht diese Abweichung aber einen

*) $R = \frac{P_0 V_0}{273} = \frac{22350 \times 76 \times 13{\cdot}6}{273} = 84700.$

Maximalwert; bei weiterer Verdünnung bleibt sie konstant, und dann sind die gelösten Moleküle vollständig dissoziiert.

Die Größe der Dissoziation wird durch den Dissoziationsgrad δ gemessen. Es ist dies das Verhältnis der in einem bestimmten Volum enthaltenen dissoziierten Moleküle N*) zu der Zahl der ursprünglich vorhandenen nicht dissoziierten Moleküle N' oder das Verhältnis der Zahl der durch die Dissoziation gebildeten Molekülbruchstücke $\mathfrak{N}$ zur Gesamtzahl dieser Molekülstücke $\mathfrak{N}'$, die gebildet würde, wenn der Körper vollständig zerfallen wäre:

$$\delta = \frac{N}{N'} = \frac{\mathfrak{N}}{\mathfrak{N}'}.$$

Von der Tatsache ausgehend, daß die elektrolytischen Lösungen den Strom leiten, obwohl kein Anzeichen dafür spricht, daß sie „metallische" Leitfähigkeit besäßen, da sie den Strom nur dadurch leiten, daß die Elektrizität gemeinsam mit den Bestandteilen des Elektrolyten gegen die Elektroden wandert, kam Arrhenius zu der Annahme, daß die in den elektrolytischen Lösungen auftretenden Dissoziationsprodukte der gelösten Moleküle, die Ionen die Träger der Elektrizität seien.

Wir wissen, daß ein Strom, wenn er durch einen Elektrolyten fließt, die Anionen zur Anode, Kathionen aber zur Kathode führt. Die positive Ladung der Kathionen wird vollständig durch die an der Kathode auftretende gleich große negative Ladung vernichtet, wenn sie an der Kathode ankommen, und dasselbe geschieht mit der negativen Ladung der Anionen bei ihrem Eintreffen an der Anode**).

Bei Elektrolyten ist somit der Stromdurchgang an einen Transport der Materie geknüpft.

Erinnern wir uns, daß die Leitfähigkeit $C = \frac{1}{R}$ nach dem Ohm'schen Gesetze von der Stromstärke i und von der Spannung e abhängig ist:

$$R = \frac{e}{i},$$

daß also $C = \frac{i}{e}$ sein muß. Die Leitfähigkeit ist daher für einen gegebenen Elektrolyten und konstante Spannung der Stromstärke

*) Als undissoziiert angesehen.

**) Man könnte auch sagen, die Ionen geben an den Elektroden ihre Ladung ab, die durch den geschlossenen Leiter weitergeführt, die Entstehung des elektrischen Stromes bedingen.

proportional oder, wenn wir mit q die transportierte Elektrizitätmenge und mit Θ die Zeit in Sekunden bezeichnen und bedenken, daß $i = \frac{q}{\Theta}$ ist, proportional den Elektrizitätsmengen, welche jeder Elektrode durch die Ionen zugeführt werden, aber verkehrt proportional der Zeit, während welcher sich dieser Vorgang abspielt.

Die übertragene Elektrizitätsmenge q ist der Anzahl der Ionen und ihrer Ladung proportional, während die Zeit Θ ihrer Überführungsgeschwindigkeit verkehrt proportional ist.

Nach der Theorie von Arrhenius ist daher die Leitfähigkeit eines Elektrolyten proportional:

1. Die Anzahl der in der Volumseinheit vorhandenen Ionen des gelösten Körpers;
2. der Ladung der Ionen und
3. der Überführungsgeschwindigkeit derselben.

Nach den vorstehenden Betrachtungen ist die Leitfähigkeit einer Lösung der Zahl der in der Raumeinheit desselben (1 cm^3) enthaltenen Ionen proportional, während die nicht dissoziierten Moleküle dieser Lösung an der Leitfähigkeit keinen Anteil haben.

Wenn man das Volumen einer Lösung vergrößert, d. h. dieselbe verdünnt, so wird die Konzentration des gelösten Körpers verringert. Würde hiebei die Zahl der dissoziierten Moleküle bezw. der Ionen unverändert bleiben, so müsste die Leitfähigkeit proportional der Konzentration abnehmen. Nun hat aber die Erfahrung gelehrt, daß die Zahl der in einer Lösung vorhandenen Ionen nicht die gleiche bleibt, wenn man ihre Konzentration ändert, indem mit zunehmender Verdünnung immer mehr Moleküle zerfallen, also neue Ionen gebildet werden. Dies gilt so lange, bis bei einer bestimmten Verdünnung entweder die Dissoziation eine vollständige ist oder einen Maximalwert erreicht hat.

Eine Verminderung der Konzentration einer Lösung wird daher im allgemeinen nicht eine proportionale Verringung der Leitfähigkeit zur Folge haben, wenn man diese auf einen bestimmten Querschnitt und eine bestimmte Dicke der Flüssigkeitsschichte bezieht. Das Gleiche gilt von der Leitfähigkeit von Lösungen im allgemeinen, wie von ihrer spezifischen Leitfähigkeit (d. i. jener eines Würfels von 1 *cm* Seitenlänge).

Ganz anders verhält es sich hingegen mit der sogenannten molekularen Leitfähigkeit, die sich auf zwei Elektroden bezieht, die 1 *cm* von einander abstehen und so groß gewählt werden, daß das zwischen ihnen befindliche Flüssigkeitsvolum v gerade 1 Mol des gelösten Körpers enthält.

Die so definierte molekulare Leitfähigkeit hängt nur vom Dissoziationsgrade, d. i. von der Zahl der in dem fraglichen Lösungsvolum enthaltenen Ionen ab. Beide vergrößern sich mit zunehmender Verdünnung und wenn man jenen Verdünnungsgrad erreicht hat, bei welchem die Dissoziation der gelösten Moleküle eine vollständige ist (oder ein Maximum erreicht), bleibt die molekulare Leitfähigkeit konstant, wenn man die Lösung auch noch weiter verdünnt. Von diesem Punkte angefangen wird die spezifische Leitfähigkeit genau umgekehrt proportional dem Volumen sein, in welchem 1 Mol. des (nicht dissoziiert gedachten) gelösten Körpers enthalten ist, sie wird also auch der Verdünnung der Lösung proportional sein.

Diese Verhältnisse finden einen Ausdruck im Ostwald'schen Gesetze.

Nach der Theorie von Arrhenius ist:

$$\frac{\mu_\nu}{\mu_\infty} = \frac{\mathfrak{N}}{\mathfrak{N}'},$$

worin μ_ν das molekulare Leitvermögen jener Lösung bedeutet, die 1 Molekül des Elektrolyten im Volumen ν enthält, während μ_∞ das Maximum der molekularen Leitfähigkeit darstellt. $\mathfrak{N}$ und $\mathfrak{N}'$ bedeuten die Anzahl der Ionen in ersterer Lösung, in welcher die Dissoziation unvollständig ist bezw. bei vollständiger Dissoziation. Da nun $\frac{\mathfrak{N}}{\mathfrak{N}'} = \frac{N}{N'} = \delta$ den Dissoziationsgrad darstellt, ist auch

$\frac{\mu_\nu}{\mu_\infty} = \delta$, und das ist das Ostwald'sche Gesetz: Der Dissoziatonsgrad einer Lösung ist gleich dem Verhältnisse zwischen ihrer molekularen Leitfähigkeit und jener für so große Verdünnung, daß vollständige Dissoziation des gelösten Elektrolyten eintritt.

Über die molekulare Leitfähigkeit von Elektrolyten liegen zahlreiche Untersuchungen vor, von denen einige angeführt werden mögen.

Bouty hat den spezifischen Widerstand ρ_0 einer Reihe von verdünnten KCl-Lösungen bei 0° bestimmt, woraus sich die übrigen uns hier interessierenden Werte leicht berechnen lassen.

Widerstand und Leitfähigkeit von KCl-Lösungen bei 0° nach Bouty.

(1 *g* Äquivalent = 74·5 *g*)

Zahl der Gramm-moleküle im Liter N	Volumen von 1 Gramm-molekül in cm^3 $v = \frac{1000}{N}$	Widerstand in Ohm		Leitfähigkeit in mho = $\frac{1}{ohm}$		Temperaturkoeffizient bei 0° α
		spezifischer ρ_0	molekularer λ	spezifische γ	molekulare μ	
3	333	5·172	0·015516	0·1933	64·37	0·0230
2	500	7·785	0·01557	0·1284	64·28	0·0259
1	1000	15·415	0·01542	0·06484	64·84	0·0291
0·5	2000	30·490	0·01525	0·03275	65·50	0·0302
0·2	5000	72 230	0·01445	0·01384	69·20	0·0326
0·1	10000	141	0·0141	0·00709	70·92	0·0327
0·01	10^5	1325	0·01325	$0·754 \times 10^{-3}$	75·40	0·0333
0·001	10^6	12697	0·01269	$0·788 \times 10^{-4}$	78·80	0·0333

Man sieht, daß der Temperaturkoeffizient für die Elektrolyten weit größer ist, als für die Leiter der I. Klasse. Ebenso zeigt sich, daß er sich mit der Verdünnung ändert und bei großen Verdünnungen konstant wird.

Weitere Angaben über das sogenannte Äquivalente Leitvermögen (molekulares Leitvermögen dividiert durch die Valenz des Anions oder Kathions) enthalten die folgenden Tabellen:

Äquivalentes Leitvermögen einiger Körper in wässeriger Lösung bei 25° C, nach Nernst und Löb.

Körper	Lösungsvolum von 1 Äquivalent in Litern					
	40	66²/₃	142·86	333¹/₃	666²/₃	1250
Silbernitrat, $AgNO_3$	120·4	123·3	127·0	128·9	130·5	131·7
Silberchlorat, $AgClO_3$	111·7	117·9	120·1	123·1	124·0	124·3
Silberperchlorat, $AgClO_4$	118·6	121·8	124·0	126·4	127·2	128·3
Silberäthylsulfonat, $AgO_4SC_2H_5$	—	—	96·8	99·4	100·8	101·5
Silbernaphthalinsulfonat, $AgO_4SC_{10}H_7$	—	94·3	95·5	99·0	100·6	101·7
Silber ψ kumolsulfonat, $AgO_3SC_9H_{11}$	78·5	81·5	84·6	86·9	88·3	89·4
Silberbenzolsulfonat, $AgO_3SC_6H_5$	—	90·4	93·4	95·9	96·2	96·9
Silberacetat, $AgO_2C_2H_3$	—	—	95·9	99·0	100·9	101·5
Silberdithionat, $^1/_2\,Ag_2S_2O_6$	134·0	143·6	147·9	154·2	157·6	160·9
Silbersilikofluorid, $^1/_2\,Ag_2SiF_6$	106·4	109·1	112·7	115·6	117·2	117·6

Molekulares Leitvermögen anorganischer Säuren und Basen in wässeriger Lösung bei 25° C.

Körper	Lösungsvolum von 1 Mol. in Litern										Beobachter
	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	
Salzsäure, HCl	353	366	378	386	393	399	401	403	—	—	Ostwald
Chlorsäure, $HClO_3$	353	364	373	381	387	391	399	402	402	402	"
Überchlorsäure, $HClO_4$	358	372	383	390	399	404	406	407	407	407	"
Bromwasserstoff, HBr	364	377	385	391	398	402	405	405	406	405	"
Bromsäure, HBO_3	—	—	—	—	359	370	381	390	396	401	"
Jodwasserstoff, HJ	364	376	384	391	397	402	405	406	406	404	"
Jodsäure, HJO_3	193	229	268	301	327	349	364	371	376	377	"
Überjodsäure, HJO_4	—	108	139	179	223	270	312	348	374	387	"
Fluorwasserstoff, HF	—	29·6	35·8	44·3	59·5	78·6	104·7	138	177	224	"
Unterschwefelsäure, $H_2S_2O_6$	—	720	726	754	773	790	806	815	822	829	"
Tetrathionsäure, $H_2S_4O_6$	—	—	729	748	773	788	808	822	830	843	"
Selenige Säure, H_2SeO_3	34·6	44·1	57·0	74·9	98·4	128	164	201	246	285	"
Selensäure, H_2SeO_4	440	468	498	533	575	626	674	720	744	769	"
Phosphorsäure, H_3PO_4	64	77	96	124	156	195	240	279	317	341	"
Unterphosphorige Säure, H_3PO_2	140	172	207	245	281	312	335	352	361	367	"
Phosphorige Säure, H_3PO_3	129	156	187	222	257	292	318	337	351	358	"
Rhodanwasserstoffsäure, $HSCN$	348	359	368	375	382	386	391	391	393	—	"
Ferrocyanwasserstoffsäure, $H_4Fe(CN)_6$	—	—	750	875	934	1000	1064	1134	1214	1301	"
Kieselflußsäure, H_2SiF_6	216	260	281	304	324	342	358	377	415	495	"
Übermangansäure, $HMnO_4$	336	354	371	377	385	392	398	403	403	401	Lovèn
Arsensäure, H_3AsO_4	—	—	73·1	95·6	125·5	160·6	201·4	243·7	282·6	310·4	Walden
Chromsäure, H_2CrO_4	—	—	—	371·0	379	384	387	387	383	378	"
Schweflige Säure, H_2SO_3	—	—	—	—	189·2	229·1	264·9	297·4	323·3	346	Barth
Ammoniak, $NH_4.OH$	1·56	2·24	3·21	4·55	6·53	9·29	13·4	19·0	27·5	39·4	Ostwald
Calciumhydroxyd, $Ca(OH)_2$	—	—	—	—	—	406	469	447	455	—	"
Baryumhydroxyd, $Ba(OH)_2$	—	—	372	392	410	429	448	461	465	469	"
Strontiumhydroxyd, $Sr(OH)_2$	—	—	—	—	405	419	432	446	451	452	"
Thalliumhydroxyd, $TlOH$	—	182	200	217	230	238	244	248	248	—	"

Äquivalent-Leitvermögen anorganischer Ver-

Äquivalentes Leitvermögen	1 Grammäquivalent ist bei 18° C								
	∞	10000	5000	2000	1000	500	200	100	50
KCl	130·10	129·07	128·77	128·11	127·34	126·31	124·41	122·43	119·96
KBr	132·30	131·15	130·86	130·15	129·38	128·32	126·40	124·40	121·87
KJ	131·1	129·76	129·50	128·97	128·25	127·21	125·33	123·44	121·10
KF	111·35	110·47	110·22	109·57	108·89	107·91	106·16	104·28	101·87
KSCN	121·30	120·22	120·02	119·38	118·64	117·65	115·81	113·95	111·59
$KClO_3$	119·70	118·63	118·35	117·68	116·92	115·84	113·84	111·64	108·81
KJO_3	98·49	97·64	97·34	96·72	96·04	95·04	93·19	91·24	88·64
KNO_3	126·50	125·50	125·18	124·44	123·65	122·60	120·47	118·19	115·21
NaCl	108·99	108·10	107·82	107·18	106·49	105·55	103·78	101·95	99·62
NaF	90·15	89·35	89·06	88·49	87·86	86·99	85·27	83·48	81·1
$NaJO_3$	77·42	76·69	76·44	75·83	75·19	74·30	72·62	70·86	68·56
$NaNO_3$	105·33	104·55	104·19	103·53	102·85	101·89	100·06	98·16	95·66
LiCl	98·88	98·14	97·85	97·19	96·52	95·62	93·92	92·14	89·91
$LiJO_3$	67·36	66·66	66·43	65·87	65·27	64·43	62·89	61·23	59·05
$LiNO_3$	95·18	94·46	94·15	93·52	92·87	91·97	90·33	88·61	86·41
TlCl	131·47	130·33	130·00	129·18	128·23	126·81	123·73	120·21	—
TlF	112·5	114·38	114·64	114·45	113·25	111·29	108·18	105·44	102·22
$TlNO_3$	127·75	126·63	126·30	125·61	124·70	123·48	121·11	118·38	—
$AgNO_3$	115·80	115·01	114·56	113·88	113·14	112·07	110·03	107·80	—
CsCl	133·6	132·3	132·0	131·38	130·68	129·52	127·47	125·20	—
RbCl	—	132·3	(131·9)	(131·2)	130·3	(129·4)	(127·4)	125·3	(122·8)
NH_4Cl	—	129·2	128·8	128·1	127·3	126·2	124·2	122·1	119·6
$KC_2H_3O_2$	—	100·0	99·6	98·9	98·3	97·5	95·7	94·0	91·5
$NaC_2H_3O_2$	—	(76·8)	76·4	(75·8)	(75·2)	74·3	(72·4)	70·2	67·9
$^1/_2\,K_2SO_4$	—	130·8	130·1	128·6	126·9	—	120·3	115·8	110·4
$^1/_2\,Na_2SO_4$	—	110·5	109·6	108·3	106·7	104·8	100·8	96·8	91·9
$^1/_2\,Li_2SO_4$	—	—	—	97·9	96·4	—	—	86·8	82·2
$^1/_2\,K_2CO_3$	—	—	—	—	(133·0)	128·3	121·6	115·5	109·2
$^1/_2\,Na_2CO_3$	—	—	—	—	(112·0)	108·5	102·5	96·2	89·5
$^1/_2\,ZnCl_2$	—	110	109	108	107	105	101	98	94
$^1/_2\,BaCl_2$	—	—	—	117·0	115·6	—	—	106·7	102·5
$^1/_2\,MgCl_2$	—	109·4	108·9	107·7	106·3	104·5	101·3	98·1	94·3
$^1/_2\,BaN_2O_6$	—	115·3	114·6	113·3	111·7	109·5	105·3	101·0	95·7
$^1/_2\,MgSO_4$	—	109·9	108·1	104·2	99·9	94·1	84·5	76·2	67·7
$^1/_2\,ZnSO_4$	—	109·5	107·5	103·2	98·4	92·0	81·8	72·8	63·7
$^1/_2\,CuSO_4$	—	109·9	107·9	103·6	98·6	91·9	81·0	71·7	62·4
$^1/_2\,PbN_2O_6$	—	120·7	119·9	118·1	116·1	113·5	108·7	103·5	97·0
$^1/_2\,Na_2SiO_3$	—	—	—	—	144	142	139	136	132
KOH	—	—	—	—	(234)	(233)	230	228	225
HCl	—	—	—	—	(377)	376	373	370	367
HNO_3	—	—	—	—	(375)	374	371	368	364
$^1/_2\,H_2SO_4$	—	—	—	(368)	361	351	330	308	286
$^1/_3\,H_3PO_4$	—	—	—	—	(106)	102	93	85	(74)
$C_2H_4O_2$	—	107	80	57	51	30·2	20·0	14·3	10·4
NH_3	—	(66)	53	38·0	28·0	20·6	13·2	9·6	7·1
$^1/_2\,K_2C_2O_4$	—	125·2	124·9	123·9	122·5	120·5	116·8	112·9	108·1
$^1/_2\,CaCl_2$	—	115·2	114·5	113·3	112·0	110·1	106·7	103·4	99·4
$^1/_2\,Sr(NO_3)_2$	—	111·7	111·1	109·8	108·3	106·3	102·7	99·0	94·5
$^1/_2\,Ca(NO_3)_2$	—	111·9	111·2	109·9	108·5	106·5	103·1	99·5	95·2
$^1/_2\,SrCl_2$	—	(118·7)	(117·6)	116·0	114·5	112·5	108·9	105·4	101·0
$^1/_2\,Ba(C_2H_3O_2)_2$	—	(88)	87·1	86·1	85·0	83·3	80·4	77·1	72·6
$^1/_2\,Sr(C_2H_3O_2)_2$	—	(82·5)	(82·1)	81·1	80·1	78·5	75·8	72·8	69·1
$^1/_2\,Ca(C_2H_3O_2)_2$	—	82·3	81·7	80·7	79·6	78·2	75·0	71·9	67·9
$^1/_2\,CaSO_4$	—	114·9	113·8	109·3	104·3	97·0	85·9	77·0	—

bindungen in wässeriger Lösung bei 18° C.

gelöst in Litern Wasser: 20	10	5	2	1	0·5	0·33	0·2	Beobachter
115·75	112·03	107·96	102·41	98·27	92·6	88·3	—	Kohlrausch u. Maltby
117·78	114 22	110·40	105·37	—	—	—	—	
117·26	113·98	—	106·2	103·60	—	—	—	Kohlrausch und
97·93	94·02	—	82·6	76·0	—	—	—	v. Steinwehr
107·74	104·28	—	95·69	91·61	—	—	—	
103·74	99·19	93·73	85·28	—	—	—	—	
84·06	79 67	74·34	—	—	—	—	—	Kohlrausch
109·86	104·79	98·74	89·24	80·46	69·4	(61·3)	—	Kohlrausch und
95·71	92·02	87·73	80·94	74·35	64·8	56·5	42·7	Maltby
77·03	73·14	68·0	60·0	51·9	—	—	—	Kohlrausch u. v. Steinwehr
64·43	60·46	55·45	—	—	—	—	—	Kohlrausch
91·43	87·24	82·28	74·05	65·86	54·5	46·0	—	Kohlrausch und
86·12	82·42	77·93	70·71	63·36	53·1	45·3	33·3	Maltby
55·26	51·50	46·88	38·98	31·21	—	—	—	Kohlrausch
82·72	79·19	75·01	67·98	60·77	—	—	—	Kohlrausch u. Maltby
—	—	—	—	—	—	—	—	
97·38	92·61	—	98·78	71·54	—	—	—	Kohlrausch und
107·93	101·19	—	—	—	—	—	—	v. Steinwehr
99·50	94·33	—	77·5	67·6	—	—	—	
—	113·55	—	—	—	—	—	—	
(117·8)	113·9	—	—	101·9	—	—	—	
115·2	110·7	106·5	101·4	97·0	92·1	88·2	80·7	
87·7	83·8	79·2	71·6	63·4	51·4	40·9	29·6	
64·2	61·1	57·1	49·4	41 2	30·0	21·8	(10·5)	Kohlrausch und
101·9	94·9	87·8	78·5	71·6	—	—	—	Kohlrausch und
83·9	78·4	71·4	59·7	50·8	40·0	—	—	Grüneisen
74·7	68·2	61·0	50·5	41·3	30·7	—	—	
100·7	94·1	87·4	77·8	70·7	62·3	55·6	42·9	
80·3	72·9	65·6	54·5	45·5	34·5	27·1	—	
87	82	76	65	55	40	30	19	Kohlrausch
96·0	90·8	85·2	77·3	70·1	60·3	52·3	—	
88·5	83·4	77·8	69·5	61·4	—	—	—	
86·8	78·9	70·2	56·6	—	—	—	—	
56·9	49·7	43·2	—	28·9	21·4	16·1	8 8	Kohlrausch und
52·7	45·3	39·1	—	26·2	20·1	15·6	9·0	Grüneisen
51·2	43·8	37·7	—	25·8	20·1	(16·0)	—	
86·4	77·3	67·4	53·2	42·0	—	—	—	
124	116	105	88	72	51	38	19	
219	213	206	197	184	160·8	140·6	105·8	
360	351	342	327	301	254	215·0	152·2	
357	350	340	324	310	258	220	156·0	Kohlrausch
253	225	214	205	198	183·0	166·8	135·0	
—	—	—	—	(22)	19	17·7	17·1	
6·48	4·60	3·24	2·01	1·32	0·80	0·54	0·285	
4·6	3·3	2·30	1·35	0·89	0·532	0·364	0·202	
100·8	94·8	86·6	—	73·7	—	—	—	
93·3	88·2	82·8	74·9	67·5	58·0	49·7	40·8	Kohlrausch und
87·3	80·9	73·8	62·7	52·1	38·4	28·9	16·4	Grüneisen
88·4	82·5	75·9	65·7	55·9	45·3	35·8	21·5	
94·4	90·2	85·1	75·7	68·5	58·2	49·7	—	
65·7	60·2	53·9	43·8	34·3	—	—	—	
62·3	56·7	50·0	40·2	30·9	—	—	—	Mac Gregory
60·3	54·0	46·9	36·3	26·3	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	

Äquivivalentes Leitvermögen anorganischer Verbindungen in wässeriger Lösung bei 25° C.

Lösungsvolum für 1 Gramm-Äquivalent in Litern	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Kaliumchlorid, KCl	135·7	139·4	142·4	145·7	148·0	149·1	Ostwald
" "	136·4	140·2	142·5	144·4	146·1	147·3	Walden
" "	135·5	—	—	—	146·4	147·8	Bredig
" "	136·3	139·4	142·4	144·4	147·3	148·5	Boltwood
Kaliumchlorat, $KClO_3$	122·9	127·0	130·3	133·1	135·2	135·6	Ostwald
" "	123·9	127·9	130·7	133·3	134·7	136·0	Walden
Kaliumperchlorat, $KClO_4$	131·9	135·9	140·3	143·5	145·8	146·4	Ostwald
Kaliumbromid, KBr	137·2	140·9	145·1	148·2	150·1	150·5	"
Kaliumbromat, $KBrO_3$	114·4	118·2	121·0	123·2	124·9	126·3	Walden
Kaliumjodid, KJ	137·0	140·8	144·3	147·1	148·8	150·0	Ostwald
Kaliumjodat, KJO_3	100·8	104·4	107·4	109·7	111·5	112·7	Walden
" saures, $KH(JO_3)_2$	385·8	420·3	444·8	460·8	468·7	473·0	"
Kaliumfluorid, KF	114·7	118·0	120·8	123·1	124·8	126·1	"
" saures, KHF_2	130·3	142·1	158·5	174·1	219·3	272·1	"
Kaliumpermanganat, $KMnO_4$	121·7	125·3	128·3	130·3	131·2	132·4	Bredig
Kaliumnitrat, KNO_3	128·0	132·4	136·4	139·5	141·7	141·8	Ostwald
Kaliumnitrit, KNO_2	147·7	151·5	155·1	158·6	161·9	166·9	Niementowski u. Roszkowski
Kaliumsulfat, $\frac{1}{2}K_2SO_4$	124·1	131·5	137·3	141·9	145·8	148·9	Walden
Kaliumchromat, $\frac{1}{2}K_2CrO_4$	129·6	136·3	141·3	145·5	148·3	150·4	"
Kaliumbichromat, $\frac{1}{2}K_2Cr_2O_7$	122·3	124·7	125·7	126·3	127·0	129·9	"
Kaliumbisulfit, $KHSO_3$	108·6	113·5	118·0	122·3	(126·4)	(129·8)	Barth
Kaliumbisulfat $KHSO_4$	339·5	385·4	428·3	469·9	507·4	530·8	"
Kaliumsulfit, $\frac{1}{2}K_2SO_3$	119·4	125·9	131·1	135·7	139·5	143·6	"
Kaliummercurisulfonat, $\frac{1}{2}K_2Hg(SO_3)_2$	110·9	117·5	123·1	127·4	131·2	134·3	"
Monokaliumarseniat, KH_2AsO_4	93·9	97·6	100·3	102·6	104·7	106·3	Walden
Tetrakaliumferrocyanid, $\frac{1}{4}K_4Fe(CN)_6$	115·6	127·4	138·9	149·1	156·9	162·7	"
Trikaliumferricyanid, $\frac{1}{3}K_3Fe(CN)_6$	129·7	138·4	146·6	153·5	158·6	163·6	"
Kaliumchromicyanid, $\frac{1}{3}K_3Cr(CN)_6$	139·5	148·7	155·7	162·6	167·3	171·9	"
Kaliumplatinchlorid, $\frac{1}{2}K_2PtCl_6$	116·0	122·3	127·3	131·2	134·4	137·3	"
Kaliumpersulfat, $\frac{1}{2}K_2S_2O_8$	126·7	135·1	142·0	146·7	150·5	153·5	Breding
Ammoniumchlorid, NH_4Cl	135·1	138·9	142·1	144·4	146·0	147·6	"
Ammoniumplatinchlorid, $\frac{1}{2}(NH_4)_2PtCl_6$	—	123·1	128·3	132·7	135·9	138·2	Walden
Natriumchlorid, NaCl	113·6	116·9	119·8	121·4	124·9	126·3	Ostwald
" "	114·6	117·9	120·4	122·6	124·7	125·9	Walden
Natriumchlorat, $NaClO_3$	101·3	104·6	107·1	109·8	111·6	112·3	Ostwald
Natriumperchlorat, $NaClO_4$	111·4	114·9	117·7	120·0	121·6	123·7	"
" "	112·9	116·4	119·2	121·7	123·7	125·2	Walden
Natriumbromid, NaBr	115·0	118·2	121·3	124·2	126·4	127·8	Ostwald
Natriumjodid, NaJ	112·7	116·5	119·7	122·8	125·7	127·0	"
Natriumjodat, $NaJO_3$	79·3	82·4	85·0	87·1	88·8	90·2	Walden
Mononatriumperjodat, NaH_4JO_6	93·4	96·7	99·3	101·6	103·2	104·6	"

Lösungsvolum für 1 Gramm-Äquivalent in Litern	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Dinatriumperjodat, $^1/_2\, Na_2H_3JO_6$	77·9	88·0	96·8	106·9	109·8	111·5	Walden
Trinatriumperjodat $^1/_3\, Na_3H_2JO_6$	114·6	128·1	135·0	138·1	137·3	134·9	"
Pentanatriumperjodat, $^1/_5\, Na_5JO_6$	151·1	163·6	170·0	171·6	170·3	165·7	"
Natriumfluorid, NaF	93·0	96·1	98·8	101·1	102·8	104·0	"
Natriumnitrat, $NaNO_3$	108·2	111·8	114·7	117·5	119·4	120·1	Ostwald
Natriumnitrit, $NaNO_2$	110·0	112·6	115·7	118·7	121·6	125·3	Niementowski u. Roszkowski
Mononatriumphosphat, NaH_2PO_4	74·6	77·7	80·3	82·2	84·1	86·1	Walden
Dinatriumphosphat, $^1/_2\, Na_2HPO_4$	85·1	90·7	95·6	98·5	99·8	100·7	"
Trinatriumphosphat, $^1/_3\, Na_3PO_4$	104·2	114·4	120·6	123·2	123·3	122·1	"
Natriumpyrophosphat, $^1/_4\, Na_4P_2O_7$	79·9	90·3	100·3	109·5	115·4	118·1	"
Natriumwolframat, $^1/_2\, Na_2WO_4$	95·9	101·8	110·4	110·3	112·9	116·4	"
Natriummolybdat, $^1/_2\, Na_2MoO_4$	100·5	106·1	111·0	114·6	117·8	120·8	"
Natriumselenat, $^1/_2\, Na_2SeO_4$	100·0	105·7	111·0	114·6	117·5	120·3	"
Natriummetaarsenit, $NaAsO_2$	78·4	82·3	86·6	90·1	93·4	96·5	"
Mononatriumarseniat, NaH_2AsO_4	72·3	75·5	78·3	80·6	82·7	84·0	"
Dinatriumarseniat, $^1/_2\, Na_2HAsO_4$	84·5	90·6	94·9	98·4	100·9	102·5	"
Natriumorthoarsenit, $^1/_3\, Na_3AsO_3$	168·9	171·6	171·9	171·3	167·6	125·0	"
Trinatriumarseniat, $^1/_3\, Na_3AsO_4$	101·2	112·8	121·6	126·7	127·6	126·6	"
Natriumpyrosulfit, $^1/_2\, Na_2S_2O_5$	72·6	77·3	80·2	81·2	80·0	74·0	"
Natriumtetraborat, $^1/_2\, Na_2B_4O_7$	72·5	76·9	79·8	82·2	84·6	86·9	"
Natriummetaborat, $^1/_2\, Na_2B_2O_4$	73·3	77·8	81·4	84·3	86·9	89·1	"
Natriumbisulfit, $NaHSO_3$	86·2	90·3	94·6	98·6	(102·1)	(105·3)	Barth
Natriumbisulfat, $NaHSO_4$	311·9	366·2	408 3	449·9	488	513	"
Natriumsulfit, $^1/_2\, Na_2SO_3$	94·5	101·3	106·5	110·7	113·2	114·6	"
Natriummercurisulfonat, $^1/_2\, Na_2Hg(SO_3)_2$	91·5	97·0	101·7	105·2	109·6	113·5	"
Natriumplatincyanür $^1/_2\, Na_2Pt(CN)_4$	110·6	116·5	120·9	124·7	127·7	130·4	Walden
Natriumpermanganat, $NaMnO_4$	—	103·8	107·0	108·5	111·5	112·8	E. Franke
Natriumkaliumsulfit, $^1/_2\, NaKSO_3$	105·2	111·0	116·4	121·1	124·0	125·5	Barth
Rubidiumchlorid, RbCl	138·0	141·8	145·5	148·1	149·4	151·0	Bredig
" "	138·7	143·4	146·5	148·3	149·8	152·0	Boltwood

Lösungsvolum für 1 Gramm-Äquivalent in Litern	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Caesiumchlorid, $CsCl$	137·6	142·0	145·6	148·5	150·0	151·7	Bredig
" "	139·0	143·3	146·4	148·3	150·7	153·0	Boltwood
Lithiumchlorid, $LiCl$	103·8	106·5	109·8	112·4	114·6	116·1	Ostwald
Lithiumchlorat, $LiClO_3$	91·5	94·2	96·8	99·4	100·4	101·5	"
Lithiumperchlorat, $LiClO_4$	101·5	104·8	107·6	109·9	111·9	113·1	"
Lithiumpermanganat, $LiMnO_4$	87·2	90·2	94·0	96·5	98·9	101·5	E. Franke
Lithiumjodid, LiJ	103·8	106·4	110·6	112·0	114·0	114·5	Ostwald
Lithumnitrat, $LiNO_3$	97·9	100·7	104·1	106·6	108·2	108·7	"
Silbernitrit, $AgNO_2$	—	87·9	101·6	112·8	122·0	129·6	Niementowski u. Rosskowski
Silberpermanganat, $AgMnO_4$	—	113·3	116·6	118·2	119·4	120·1	E. Franke
Thallochlorid, $TlCl$	—	—	139·6	143·1	145·1	—	"
Thallofluorid, TlF	115·9	120·6	123·7	126·2	128·1	130·1	"
Thallonitrat, $TlNO_3$	128·7	133·8	137·6	140·1	142·0	142·6	"
Thallochlorat, $TlClO_3$	123·6	127·8	129·8	132·5	134·2	135·4	"
Thallobromat, $TlBrO_3$	—	—	122·9	125·5	126·3	128·1	"
Thallojodat $TlJO_3$	—	—	—	—	111·5	112·0	"
Thalloperchlorat, $TlClO_4$	129·3	134·0	137·5	139·6	141·9	143·7	"
Monothallophosphat, TlH_2PO_4	—	96·9	101·1	104·0	106·5	108·7	"
Thalloarseniat, $^1/_2\,Tl_2HAsO_4$	74·3	78·3	81·2	82·8	84·2	85·4	"
Thallophosphat, neutr. $^1/_3\,Tl_3PO_4$	—	—	106·5	117·8	122·9	122·9	"
Thallosulfat, $^1/_2\,Tl_2SO_4$	113·1	122·9	131·2	138·3	143·1	146·4	"
Thallodithionat, $^1/_2\,Tl_2S_2O_6$	131·7	141·9	151·7	160·2	166·7	170·6	"
Thalloselenat, $^1/_2\,Tl_2SeO_4$	111·2	120·7	129·0	134·7	138·6	142·2	"
Thalloselenit, $^1/_2Tl_2SeO_3$	83·0	94·9	106·1	115·2	123·7	130·8	"
Thallocarbonat, $^1/_2\,Tl_2CO_3$	93·5	107·3	119·2	129·9	137·1	143·4	"
Magnesiumchlorid, $^1/_2\,MgCl_2$	108·2	113·5	118·0	121·6	124·6	127·4	Walden
Magnesiumbromid, $^1/_2\,MgBr_2$	109·3	114·7	119·2	122·7	125·7	128·5	"
Magnesiumnitrat, $^1/_2\,Mg(NO_3)_2$	104·6	111·0	115·7	119·0	122·9	125·6	"
Magnesiumjodat, $^1/_2\,Mg(JO_3)_2$	71·6	77·0	81·7	85·6	89·4	92·5	"
Magnesiumsulfat, $^1/_2\,MgSO_4$	73·0	83·0	92·6	101·8	110·1	116·9	"
Magnesiumselenat, $^1/_2\,MgSeO_4$	72·8	82·0	91·1	98·9	105·8	112·7	"
Magnesiumchromat, $^1/_2\,MgCrO_4$	80·6	90·6	98·9	107·2	114·3	119·0	"
Magnesiumthiosulfat, $^1/_2\,MgS_2O_3$	94·1	105·1	113·9	122·2	128·8	135·2	"
Magnesiumplatincyanür, $^1/_2\,AgPt(CN)_4$	120·0	129·3	138·0	145·7	152·4	158·5	"
Magnesiumferrocyanid, $^1/_4\,Mg_2Fe(CN)_6$	96·4	106·9	116·3	117·3	139·9	154·2	"
Bariumpermanganat, $^1/_2\,Ba(MnO_4)_2$	93·4	100·0	105·1	108·0	112·5	114·4	E. Franke
Bariumhyposulfat, $^1/_2\,Ba(SO_3)_2$	91·2	103·5	114·2	124·0	132·4	139·5	Walden
Bariumhypophosphit, $^1/_2\,BaH_4(PO_2)_2$	84·1	89·9	94·3	98·1	101·1	104·0	"

Lösungsvolum für 1 Gramm-Äquivalent in Litern	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Strontiumpermanganat, $^1/_2\,Sr(MnO_4)_2$	—	107·7	111·6	114·7	116·8	117·6	E. Franke
Calciumpermanganat, $^1/_2\,Ca(MnO_4)_2$	—	103·6	108·1	111·8	116·0	119·1	„
Bleichlorid, $^1/_2\,PbCl_2$	99·8	110·8	120·3	129·1	135·5	141·9	„
Bleinitrat, $^1/_2\,Pb(NO_3)_2$	107·9	116·7	123·8	130·3	134·2	135·5	„
Nickelchlorid, $^1/_2\,NiCl_2$	107·2	113·9	118·3	122·6	125·6	127·1	„
Nickelnitrat, $^1/_2\,Ni(NO_3)_2$	100·7	106·5	110·8	115·8	118·1	120·8	„
Nickelsulfat, $^1/_2\,NiSO_4$	66·7	77·4	88·2	98·9	109·3	117·4	„
Kobaltchlorid, $^1/_2\,CoCl_2$	107·1	112·3	117·6	121·5	124·5	126·5	„
Kobaltnitrat, $^1/_2\,Co(NO_3)_2$	99·8	105·1	108·9	112·8	115·9	118·6	„
Kobaltsulfat, $^1/_2\,CoSO_4$	66·4	77·1	87·3	97·7	107·2	115·1	„
Kupfernitrat, $^1/_2\,Cu(NO_3)_2$	105·2	111·2	116·1	119·2	120·4	122·5	„
Aluminiumsulfat, $^1/_6\,Al_2(SO_4)_3$	51·1	60·6	71·2	83·1	95·3	107·2	Walden
Chromsulfat, $^1/_6\,Cr_2(SO_4)_3$	67·4	78·3	90·7	105·0	119·3	128·1	„

Kohlrausch fand für die Leitfähigkeit von Salzen, die in zwei monovalente Ionen zerfallen:

$$\mu = \mu_\infty - A\,m^{1/3},$$

worin μ_∞ die Leitfähigkeit für unendlich verdünnte Lösungen, $A = 213$ (nahezu für alle Körper konstant; wenn μ in $\frac{cm}{ohm}$ ausgedrückt wird) und m die Anzahl von Molen in 1 *l* Lösung vorstellen.

Geschmolzene Salze verhalten sich ganz ähnlich wie Lösungen, was folgende von Poincaré herrührende Zahlen zeigen:

Salz	Temperatur in Graden C.	Molekulargewicht	Konzentration Mol/Liter	Molekulares Leitvermögen μ
Kaliumnitrat	350	101	18·22	0·0397
Natriumnitrat	350	85	21·64	0·0602
Silbernitrat	350	170	22 64	0·0539
Ammoniumnitrat	200	89	18·80	0·0233
Kaliumchlorid	750	74·5	21·88	0·0813
Natriumchlorid	750	58·5	28·30	0·1206
Bleichlorid	600	278	18·73	0·1132
Calciumchlorid	750	111	18·91	0·0588
Kaliumbromid	750	119	17·61	0·0794
Natriumbromid	750	103	21·35	0·1334
Kaliumjodid	650	196	15·72	0·0738
Natriumjodid	650	150	15·72	0·1301
Kaliumchlorat	355	122·5	16·32	0·0278
Natriumchlorat	265	106·5	20·37	0·0320

Nach Poincaré ist das Verhältnis des molekularen Leitvermögens der Kalisalze zu dem der Natronsalze unabhängig vom Anion, ferner ist dasselbe bei gleicher Entfernung vom Schmelzpunkte für das Chlorid, Bromid und Jodid desselben Metalles ungefähr gleich:

Kalium	Schmelzpunkt	Temperatur	Differenz	μ
Chlorid . . .	700°	750°	50°	0·0813
Bromid . . .	690°	740°	50°	0·0755
Jodid	595°	645°	50°	0·0723
Natrium				
Chlorid . . .	715°	750°	35°	0·1206
Bromid . . .	700°	735°	35°	0·1240
Jodid	610°	635°	35°	0·1236

B. Ladung der Ionen.

Nach der Theorie von Arrhenius neutralisiert jedes Gramm-Ion, das sich an einer Elektrode abscheidet, eine Elektrizitätsmenge von entgegengesetztem Vorzeichen aber gleicher Größe, als die Ladung des Iones beträgt.

Um die Ladung eines Gramm-Iones kennen zu lernen, braucht man also nur die Elektrizitätsmenge zu messen, die zu seiner Abscheidung an der Elektrode erforderlich ist.

Die Beziehungen zwischen den Massen der abgeschiedenen Ionen und der hiezu durch den Strom zu liefernden Elektrizitätsmengen werden durch das Faraday'sche Gesetz (1833) dargestellt; es lautet:

„Die Elektrizitätsmenge, welche zur Abscheidung irgend eines Radikales erforderlich ist, beträgt für jedes Gramm-Äquivalent 96540 Coulomb". Man kann daher auch umgekehrt sagen, daß die Auflösung von je einem Gramm-Äquivalent einer Elektrode 96540 Coulomb liefert.

C. Leitungsfähigkeit der Elektrolyten und Ionengeschwindigkeit (Theorie von Hittdorf und Gesetz von Kohlrausch).

Wenn man eine Lösung (z. B. von K_2SO_4) elektrolysiert, so findet man, daß sich die Konzentration der Lösung an beiden Elektroden gleichmäßig ändert. Einen solchen Vorgang bezeichnet man als normale Elektrolyse. Bei einer großen Zahl von Salzlösungen ist dies jedoch nicht der Fall, indem bald nach Beginn

des Stromdurchganges die Konzentration der Lösung an der Anode von jener an der Kathode abweicht; man hat es dann mit einer anormalen Elektrolyse zu tun. So beträgt bei der Elektrolyse einer Kupfersulfatlösung die Abnahme der Konzentration an der Kathode 0·666, jene an der Anode aber 0·333. Bezeichnet man allgemein die Anzahl von Äquivalenten, der durch die Elektrolyse an der Kathode aus dem Elektrolyten verschwindet, mit n, so ist die an der Anode verschwindende Anzahl derselben (1 — n). Diese sogenannten Überführungszahlen n und 1 — n wurden zuerst von Hittdorf bestimmt.

Bezeichnen wir die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Anionen infolge des Stromes im Elektrolyten fortpflanzen, mit V_a, jene der Kathionen aber mit V_k, so ist

$$\frac{V_a}{V_k} = \frac{n}{1 - n}.$$

Nach Hittdorf ist dieses Verhältnis von der Stromstärke unabhängig, während im Gegenteil die absoluten Werte dieser Geschwindigkeiten der Stromstärke direkt proportional sind.

Diese Geschwindigkeiten ändern sich aber auch mit der Temperatur und der Konzentration der Elektrolyten.

Zwischen den Überführungszahlen und der molekularen Leitfähigkeit hat Kohlrausch eine sehr einfache Beziehung gefunden. Er hat gezeigt, daß die molekulare Leitfähigkeit die Summe zweier Größen ist, deren eine sich auf das Anion, deren andere aber auf das Kathion bezieht. Hiernach ist

$$\mu = \frac{K}{\triangle} \delta (V_a + V_k),$$

worin bedeutet:

K eine Konstante,

$\triangle$ die nur zum Ionentransport dienende Spannung, welche sich also ausschließlich auf die diesem Transporte entsprechende Arbeit bezieht,

δ den Dissoziationsgrad des Elektrolyten,

V_a und V_k die Geschwindigkeiten der Anionen und Kathionen.

Für $\delta = 1$ ergibt sich dann:

$$\mu_\infty = \frac{K}{\triangle} (V_a + V_k).$$

Die folgende Tabelle gibt die Ionengeschwindigkeiten für einige Lösungen bei unendlicher Verdünnung:

Ionen	Geschwindigkeit relative	Geschwindigkeit absolute in *cm*/sec pro volt/*cm*	Ionen	Geschwindigkeit relative	Geschwindigkeit absolute in *cm*/sec pro volt/*cm*
H	345·5	0·00357	MnO_4 . . .	60·5	0·00063
Li	42·3	0·00044	H_2PO_3 . . .	44·4	0·00046
Na	52·3	0·00054	H_2PO_4 . . .	35·6	0·00037
K	75·05	0·00078	H_2AsO_4 . .	33·7	0·00035
Cs	78·2	0·00081	HCO_2 . . .	54·4	0·00056
Ag	62·8	0·00065	$H_2C_2O_2$ . .	40·7	0·00042
Tl	73·9	0·00076	$^1/_2\,SO_3$ . . .	69·7	0·00072
HO	177·5	0·00184	$^1/_2\,SO_4$ . . .	78·1	0·00081
Fl	54	0·00056	$^1/_2\,CrO_3$ . .	83·09	0·00086
Cl	74·6	0·00077	$^1/_2\,Se_2O_8$ . .	81·6	0·00084
Br	77·6	0·00080	$^1/_2\,PtCl_2$ . .	69·3	0·00072
J	76·5	0·00079	$^1/_2\,C_2O_4$ . .	75·6	0·00078
NH_4	74·8	0·00077	$^1/_2\,Fe(CN)_6$.	95·1	0·00099
ClO_3	62·5	0·00065	$^1/_3\,Co(CN)_6$.	94·4	0·00098
BrO_3 . . .	53·7	0·00056	$^1/_3\,Cr(CN)_6$.	104·3	0·00108
JO_3	40·3	0·00042	$^1/_4\,Fe(CN)_6$.	96	0·00099
JO_4 . . .	54·5	0·00056			

Mittels dieser Zahlen läßt sich a priori die molekulare Leitfähigkeit μ_∞ für alle Elektrolyten, deren Ionen in vorstehender Tabelle angeführt wurden, berechnen.

Spezifischer Leitungswiderstand von verdünnter Schwefelsäure in ohm/*cm* bei 17° C (C. Roux).

Volum H_2O auf 1 Volum Säure	° Bé.	Dichte	Gewicht von 1 *l* in Gramm	Gewichtsprozent normaler Säure	spezifischer Widerstand in ohm/*cm*	elektromotorische Kraft eines Planté-Akkumulators in Volt
4	26·2	1·222	387	31·68	0·825	2·105
4·5	24	1·200	351	29·24	0·853	2·085
5	22·3	1·183	321	27·1	0·882	2·065
5·5	20·7	1·169	296	25·24	0·911	2·050
6	19·7	1·158	273·8	23·63	0·940	2·035
6·5	18·7	1·149	255·4	22·22	0·970	2·022
7	17·8	1·141	239·3	20·97	1·010	2·01
7·5	17	1·134	225·1	19·85	1·040	2·000
8	16·2	1·127	212·5	18·85	1·072	1·992
8·5	15·3	1·120	201	17·94	1·095	1·992
9	14·7	1·113	190·5	17·21	1·125	1·992

Spezifischer Leitungswiderstand elektrolytischer Lösungen, die in der Industrie Verwendung finden bei 18° C (Kohlrausch).

Gehalt der Lösung in Prozenten	Gewicht eines Liters der Lösung in Kilogrammen	spezifischer Widerstand in ohm/*cm*
Ätzkali		
4·2	1·04	6·90
8·4	1·08	3·69
16·8	1·16	2·71
25·2	1·24	1·86
29·4	1·29	1·85
33·6	1·33	1·88
42	1·43	2·24
Ätznatron		
2·5	1·03	9·25
5	1·06	5·12
10	1·11	3·22
15	1·17	2·90
20	1·23	3·08
25	1·28	3·71
30	1·34	4·99
35	1·39	6·70
40	1·44	8·70
42	1·46	9·44

Gehalt der Lösung in Prozenten	Gewicht eines Liters der Lösung in Kilogrammen	spezifischer Widerstand in ohm/*cm*
Chlornatrium		
5	1·03	15·00
10	1·07	7·66
15	1·11	6·15
20	1·15	5·16
25	1·19	4·70
26·4	1·20	4·68
Zinksulfat		
5	1·05	52·1
10	1·11	31·1
15	1·17	24·1
20	1·23	21·5
25	1·30	20·9
30	1·38	22·6
Kupfersulfat		
2·5	1·02	92·3
5	1·05	53·3
10·5	1·11	31·4
15	1·17	23·9
17·5	1·20	21·9

Der Leitungswiderstand von Flüssigkeiten nimmt mit steigender Temperatur rasch ab.

Spezifischer Leitungswiderstand geschmolzener Elektrolyten.

Salz	Temperatur in Graden C	Spezif. Widerstand ϱ in Ohm	Temperaturkoeffizient	Beobachter
Kaliumnitrat	350	0·724	0·005	Bouty und L. Poincaré
Natriumnitrat	350	1·302	0·005	
Silbernitrat	350	1·220	0·00272	
Ammoniumnitrat . .	200	0·400	0·0073	
Kaliumchlorid . . .	750	1·788	0·0068	
Natriumchlorid . . .	750	3·40	0·0060	
Calciumchlorid . . .	750	1·16	0·0046	
Bleichlorid	508	1·56	$0{\cdot}0003\,t + 0{\cdot}0000007\,t^2$	
Kaliumbromid . . .	750	1·40	0·0045	
Natriumbromid . . .	750	2·85	0·0045	
Kaliumjodid	650	1·15	0·004	
Natriumjodid	650	2·36	0·004	
Kaliumchlorat	355	0·454	—	
Natriumchlorat . . .	255	0·653	—	
75% NaCl + 25% Kryolith	870	3·10	0·00334	Minet

Auch hier nimmt der Leitungswiderstand mit steigender Temperatur ab.

Ionisationswärme in grossen Calorien.

Anion	pro Gramm Molekül	pro Gramm Äquivalent	Kathion	pro Gramm Molekül	pro Gramm Äquivalent
HCO_3 . .	+ 163·3	+ 163·3	Li	+ 62·9	+ 62·9
HPO_4 . .	+ 305·3	+ 152·6	Rb	+ 62·6	+ 62·6
HPO_2 . . .	+ 144·2	+ 144·2	K	+ 62·0	+ 62·0
S_2O_6 . . .	+ 278·8	+ 139·4	Sr	+ 119·8	+ 69·0
S_4O_6 . . .	+ 261·3	+ 130·6	Na	+ 57·4	+ 57·4
HPO_3 . .	+ 230	+ 115	Ca . . .	+ 109·5	+ 54·7
SO_4 . . .	+ 214 5	+ 107·2	Mg	+ 109	+ 54·5
PO_4 . . .	+ 297·9	+ 99·3	Al	+ 120·3	+ 40·1
CO_3 . . .	+ 161·2	+ 80·6	(NH_4) . .	+ 32·8	+ 32·8
SO_3 . . .	+ 151·3	+ 75·6	Mn	+ 50·2	+ 25·1
SeO_3 . . .	+ 145·1	+ 72·5	Zn	+ 35·1	+ 17·5
AsO_4 . . .	+ 215·2	+ 71·7	Fe'' . . .	+ 22·2	+ 11·1
S_2O_3 . . .	+ 138·9	+ 69·4	Cd	+ 18·4	+ 9·2
Se_2O_3 . . .	+ 119·8	+ 59·9	Co	+ 17·0	+ 8·5
JO_3 . . .	+ 55·9	+ 55·9	Ni	+ 16	+ 8·0
OH . . .	+ 54·5	+ 54·5	Fe''' . . .	+ 9·3	+ 4·6
TeO_4 . . .	+ 98·5	+ 49·2	Sn'' . . .	+ 3·3	+ 1·6
NO_3 . . .	+ 49	+ 49	Pb	— 0·50	— 0·25
JO_4 . . .	+ 46·6	+ 46·6	H	— 0·45	— 0·45
Cl	+ 39·2	+ 39·2	Cu'' . . .	— 15·8	— 7·9
TeO_3 . . .	+ 77·2	+ 38·6	Hg' . . .	— 19·8	— 9·9
Br	+ 28·2	+ 28·2	N	— 25·3	— 25·3
NO_2 . . .	+ 27	+ 27·0			
ClO . . .	+ 26·1	+ 26·1			
ClO_3 . . .	+ 23·4	+ 23·4			
J	+ 13·1	+ 13·1			
BrO_3 . . .	+ 11·2	+ 11·2			
HS . . .	+ 1·2	+ 1·2			
S	— 12·7	— 6·3			
Te . . .	— 34·9	— 17·4			
Se . . .	— 35·6	— 17·8			
ClO_4 . . .	— 38·7	— 38·7			

D. Additive Eigenschaften der Elektrolyten.

Wir haben oben gesehen, daß sich die molekulare Leitfähigkeit eines vollständig dissoziierten Elektrolyten, nach Kohlrausch aus zwei additiven Werten zusammensetzt, die sich auf Anion und Kathion beziehen. Das Gleiche gilt auch von den anderen Eigenschaften sehr verdünnter Lösungen, so für die Farbe, das

Drehungsvermögen, die Reaktionsgeschwindigkeit, die Neutralisation von Basen und Säuren (Neutralisationswärme und Volumsvergrößerung).

Die Bildungswärme der Elektrolyten aus ihren Ionen folgt gleichfalls diesem Gesetze: sie ist gleich der Summe der Ionisationswärme von Anion und Kathion. Unter Ionisationswärme versteht man jene Wärmemenge, welche einem Elemente zugeführt werden muß, damit es aus dem Molekularzustande in den Ionenzustand übergehe. Die vorstehenden Werte wurden von Ostwald ermittelt.

Während für Elektrolyten, die in ihrer Lösung vollständig dissoziiert sind, die Summe der Ionisationswärme von Anion und Kathion genau der Bildungswärme der betreffenden Verbindungen aus den Ionen entspricht, ist dies bei solchen Körpern, die in ihrer Lösung nur teilweise dissoziiert sind, nicht genau der Fall und der Unterschied zwischen der so berechneten und der unmittelbar gefundenen Bildungswärme wird um eben so viel größer, als der Dissoziationsgrad, den der Elektrolyt erreichen kann, kleiner wird.

Folgende Tabelle gibt die Bildungswärme einiger Verbindungen, die obigem Gesetze folgen:

Elektrolyt	Bildungswärme		Elektrolyt	Bildungswärme	
	gefunden	berechnet		gefunden	berechnet
KCl	101·2	101·2	$^1/_2\,MgCl_2$ . .	93·6	93·7
KBr	90·4	90·2	$^1/_6\,Al_2Cl_6$ . .	79·35	79·3
KJ	75	75·1	$^1/_2\,FeCl_2$ . .	50·1	50·2
$^1/_2$ KS. . . .	56·8	55·7	$^1/_2\,CdCl_2$.	48·2	48·4
NaCl	96·6	96·6	$^1/_2\,NiCl_2$. . .	47·5	47·2
$^1/_2\,CaCl_2$. . .	95·5	93·7	$^1/_2\,CuCl_2$ . .	31·2	31·3
$^1/_2\,SrCl_2$. . .	97·9	99·1			

E. Chemisches Äquivalent der Elektrizität und elektrochemisches Äquivalent.

Unter chemischem Äquivalent der Elektrizität, $E_{ch} = 96540$, versteht man jene Elektrizitätsmenge, welche nach dem Faraday'schen Gesetze aus ein Grammolekül eine Valenz in Freiheit setzt; während man unter elektrochemischem Äquivalent eines Ions oder eines Radikales jene Menge versteht, die durch ein Coulomb in Freiheit gesetzt wird.

In der Industrie bezieht man die Mengen der durch Elektrolyse abgeschiedenen Stoffe allgemein auf eine Ampère-Stunde (= 3600 Coulomb); diese Mengen sind natürlich 3600mal so groß, als die elektrochemischen Äquivalente.

Die folgende Tabelle gibt einige damit im Zusammenhange stehende Daten.

	Elemente	Spezifisches Gewicht bei 15° C (Gewicht von 1 cm^3 in Grammen)	Atom-gewicht	Valenz	Elektrochemisches Äquivalent, bezogen auf 96540 Coulomb	1 Coulomb	1 Amp.-Stunde	Schmelzpunkt bei Atmosphärendruck
		Gramm			Gramm	Milligramm	Gramm	Grade C.
negativ	Fluor (Gas)	1·71 × 10^{-3}	19	1	19	0·1972	0·7103	— 187
	Chlor (Gas)	3·12 × 10^{-3}	35·45	1	35·45	0·3671	1·322	— 70
	Brom	2·966	79 96	1	79·96	0·8282	2·982	— 7·32
	Jod	4·95	126·85	1	126·85	1·314	4·730	113
	Sauerstoff (Gas).	1·429 × 10^{-2}	16	2	8	0·1828	0·2984	— 190
	Schwefel (oct.)..	2·07	32·06	2	16·03	0·1662	0·5985	113·6
	Selen.....	4·30	79·2	2	39·6	0·4102	1·486	217
	Tellur.	6·24	127·6	2	63·8	0·6603	2·377	525
	Stickstoff (Gas).	1·25 × 10^{-3}	14·04	1	14·04	0·1455	0·524	— 203
	"	—	—	3	4·68	0·0485	0·175	—
	Phosphor	1·77	31	1	31	0·312	1·156	44·2
	"	—	—	3	10·33	0·107	1·385	—
	Arsen.	5·67	75	1	75	0·777	2·797	210
	Antimon	6·72	120·2	1	120·3	1·266	4·486	632
	Wismuth	9·82	208·5	1	208·5	2·159	7·772	268
	Bor (krist.).....	2·69	11	1	11	0·114	0·4104	—
	" (amorph)...	2·55	—	3	2·83	0·038	0·1368	—
	Kohlenstoff (amorph)	1·46	12	2	6	0·0622	0·2239	3500
	Kohlenstoff (Graphit) . ..	2·62	—	4	3	0·0311	0·1119	—
	Kohlenstoff (Diamant)....	3·5						
	Silicium (krist.).	2·65	28·4	2	14·2	0·1452	0·5227	—
	" (glasig)	2·43	—	4	7·1	0·0726	0·2614	—
positiv	Wasserstoff(Gas)	0·0898 × 10^{-3}	1·008	1	1·008	0·01044	0·0376	—
	Vanadium	—	51·2	1	512	0·53	1·908	—
	Arsen	5·67	75	3	25	0·259	0·934	210
	Niob.	—	94	1	94	0·975	3·51	—
	Tantal	—	183	1	183	1·896	6·825	—
	Antimon	6·72	120·3	3	40·1	0·415	1·494	632
	Wismuth	9·82	280·5	3	69·5	0·719	2·588	268
	Titan..	4·87	48·1	1	48·1	0·4988	2·796	—
	"	—	—	4	12·03	0·1247	1·440	—
	Zirkonium	4·14	90·6	4	22·65	0·2341	0·843	—
	Zinn	7·29	119	2	59·50	0·6163	2·219	233
	"	—	—	4	29·75	0·3081	1·109	—
	Cäsium..	—	132·9	1	132·9	1·376	4·954	—
	Rubidium......	1·52	85·4	1	85·4	0·886	3·190	—
	Kalium	0·86	39·15	1	39·15	0·406	1·462	62·5
	Natrium	0·97	23·05	1	23·05	0·239	0·860	95·6
	Lithium	0·59	7·03	1	7·03	0·278	0·262	180
	Calcium	2·58	40·1	2	20·05	0·208	0·749	—
	Strontium . ..	2·04	87·6	2	43·80	0·454	2·634	—
	Baryum	—	137·4	2	68·70	0·702	2·563	—
	Thorium	—	232·4	2	116·20	1·205	4·338	—
	Beryllium	2·10	9·01	2	4·55	0·0471	0·170	—
	Magnesium.....	1·74	24·36	2	12·18	0·1259	0·453	—

	Elemente	Spezifisches Gewicht bei 15° C (Gewicht von 1 cm³ in Grammen)	Atomgewicht	Valenz	Elektrochemisches Äquivalent, bezogen auf 96540 Coulomb	1 Coulomb	1 Amp.-Stunde	Schmelzpunkt bei Atmosphärendruck
		Gramm			Gramm	Milligramm	Gramm	Grade C.
positive	Zink	2·15	65·40	2	32·70	0·3887	1·219	433
	Kadminm (geschmolzen)	8·6	112·40	2	56·20	0·5822	2·096	328
	Aluminium (geschmolzen)	2·56	27·1	3	9·035	0·0936	0·337	625
	Aluminium (Blech)	2·67	—	—	—	—	—	—
	Kobalt (geschmolzen)	7·81	59	2	29·5	0·306	1·102	—
	Kobalt (geschmolzen)	—	—	3	19·67	0·204	0·734	—
	Nickel (geschmolzen)	8·28	58·7	2	29·35	0·304	1·094	—
	Nickel (geschmolzen)	—	—	3	19·57	0·205	0·731	—
	Eisen (geschmolzen)	7·20	55·7	2	27·85	0·2895	1·042	1500
	Eisen (Blech)	7·79	—	3	18·57	0·193	0·695	—
	Chrom	6·92	52·1	2	26·05	0·2698	0·980	—
	"	—	—	3	17·37	0·1799	0·658	—
	Mangan	8·01	55	2	27·50	0·2849	1·026	—
	"	—	—	3	18·33	0·1899	0·684	—
	Molybdän	9·01	96	2	48	0·497	1·789	—
	Uran	18·22 — 18·4	238·5	4	59·4	0·6206	2·234	—
	Wolfram	18·7	184	2	92	0·058	3·431	—
	Thallium	11·56	204·1	2	102·05	1·058	3·809	—
	Blei	11·35	206·9	2	103·45	1·072	3·859	325
	Kupfer (geschmolzen)	8·85	63·6	1	63·6	0·619	2·372	1054
	Kupfer (geschmolzen	—	—	2	31·8	0·329	1·184	—
	Quecksilber	13·6	200	1	200	2·07	7·453	— 39·5
	"	—	—	2	100	1·035	3·726	—
	Silber	10·51	107·93	1	107·93	1·118	4·252	954
	Gold (geschmolzen)	19·26	197·20	3	65·70	0·581	2·452	1045
	Osmium	12·47	191	2	95·5	0·989	3·560	—
	Ruthenium	11·3	101·7	2	50·85	0·524	1·881	—
	Platin	21·45	194·8	4	97·4	0·505	1·818	1775
	Palladium	12·05	106·5	2	53·25	0·554	1·994	1500
	Iridium	22·40	193·1	3	96·55	0·667	2·401	—
	Rhodium	12·41	103	2	51·5	0·534	1·934	—

F. Elektrolytische Dissoziation und Dielektritätskonstante.

Wie wir früher gesehen haben, besteht ein inniger Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und dem Dissoziationsgrade von Elektrolyten, während anderseits der Dissoziationsgrad bei gleicher Verdünnung von der Natur des angewendeten Lösungsmittels abhängig ist.

Nun besteht nach Thomson und Nernst zwischen diesem Dissoziationsvermögen der Flüssigkeiten und ihrer Dielektrizitätskonstante D eine Beziehung, indem beide gleichzeitig wachsen. Das läßt sich in folgender Weise erklären. Die in einer Lösung vorhandenen positiv und negativ geladenen Ionen ziehen einander gegenseitig an und haben daher das Bestreben, sich zu elektrischneutralen Molekülen zu vereinigen. Da dies in Wirklichkeit nicht geschieht, müssen diesem Streben irgend welche Kräfte entgegenwirken. Da nun eine Vergrößerung der Dielektrizitätskonstante eine Ausgleichung der elektrischen Ladungen erschwert, muß sie eine Erhöhung der Dissoziation bewirken.

Die Richtigkeit dieses Satzes wurde von Walden*) bestätigt, der die Lösungen von Tetraäthylammoniumjodid $N(C_2H_5)_4J$ in verschiedenen Lösungsmitteln untersuchte.

Folgende Tabelle zeigt den Parallelismus zwischen dissoziierender Kraft und Dielektrizitätskonstante, bestätigt also den Nernst'schen Satz. Ferner ergibt sich, daß in homologen Reihen mit wachsendem Kohlenstoffgehalte der Wert von μ_∞ abnimmt. Das Produkt aus μ_∞ und dem Temperaturkoëffizienten für die verdünnteste Lösung schwankt für die verschiedensten Lösungen wenig um den Mittelwert 1·30, während anderseits zwischen der Dielektrizitätskonstanten und dem Volum verschiedener Lösungen von gleichem Dissoziationsgrade sehr nahe die Beziehung gilt:

$$D\sqrt[3]{v} = D'\sqrt[3]{v'} = D''\sqrt[3]{v''} = \text{const.}$$

Anderseits bestehen aber auch zwischen der Dielektrizitätskonstanten und anderen Eigenschaften interessante Beziehungen: Sie nimmt gleichzeitig mit der Verdampfungswärme, der absoluten

*) Zeitschr. f. phys. Chem., 54, p. 129 (1906).

Lösungsmittel	Dielektrizitätskonstante D_{20}	μ_∞ bei 25°	Dissoziationsgrad δ in % bei v =			Temperaturkoëffizient C_{0-25}
			100	1000	2000	
Wasser, H_2O	81·7	112	91	98	99	
Formamid, $HCONH_2$	84	25	93	98	98	0·044
Glycolsäurenitril, H_3COHCN	67·9	71·5	93	98	99	0·0220—0·0219
Äthylencyanid, $(CH_3CN)_2$	37·3—61·2	35·5 (60)	90	95	96	0·025
Nitrosodiurethylin	53·3	95	—	(89)	(91)	0·0149—0·0144
Citrakonsäureanhydrid	39·5	22·5	82	93	94	0·014 —0·044
Nitromethan, CH_3NO_2	38·2—40·4	120	78	92	93	0·0132—0·0136
Furfurol	36·5—39·4	50	ca. 78	91	93	0·0242—0·0254
Milchsäurenitril	37·7	40	—	89	91	0·0303—0·0328
Acetonitril, CH_3CN	35·8—36·4	200	74	90	92	0·0103
Methylrhodanid, CH_3SNC	33·3—35·9	96	77	89	91	0·0148
Glykol, $(CH_3OH)_2$	34·5	8	78	89	—	0·092 —0·096
Nitrobenzol, $C_6H_5NO_2$	33·4—37·4	40	71	88	90	0·0254—0·0245
Methylalkohol, CH_3OH	32·5—34·8	124	73	88	90	0·0151—0·0159
Cyanessigsäuremethylester	28·8	29·5	69	84	87	0·0439—0·0436
Propionitril, C_2H_5CN	26·5—27·2	165	65	84	87	0·0109—0·0112
Äthylrhodanid, C_2H_5SCN	26·5—31·2	84·5	63	83	86	0·0149—0·0144
Cyanessigsäureäthylester	26·2—26·7	28·2	65	83	87	0·0392
Benzonitril, C_6H_5CN	26·0	56·5	61	80	84	0·0227—0·0231
Epichlorhydrin	(? 26)	66·8	60	81	85	0·0168—0·0209
Äthylaceton	25·1—26·0	79	—	83	87	0·0172
Äthylalkohol	21·7—27·4	60	54	78	82	0·0230—0·0224
Acetaldehyd	18·6—21·1	ca. 180 (0°)	—	(84)	(86)	0·0082—0·0068
Aceton	20·7—21·9	225	50	74	80	0·0082—0·0090
Methylsenföl	17·9—19·7	ca. 134 (50°)	—	ca. 77	—	0·0101—0·011

Lösungsmittel	Dielektrizitätskonstante D_{20}	μ_∞ bei 25°	Dissoziationsgrad δ in % bei v = 100	1000	2000	Temperaturkoëffizient C_{0-25}
Äthylsenföl	19·4—22·0	106	—	66	—	0·0124—0·0130
Propionaldehyd	14·4—18·5	(ca. 145)	(55)	(75)	—	(0·0081 bezw. 0·011)
Essigsäureanhydrid	17·9	76	58	79	84	0·0171—0·0177
Benzaldehyd	14·5—16·9	42·5	51	73	78	0·0207—0·0224
Benzylcyanid	15·0—16·7	36	46	74	79	0·028 —0·031
Acetylbromid	6·2	114	47	73	78	0·0095
Anisaldehyd	15·5	16·5	—	76	81	0·063 —0·072
Acetylchlorid	15·5	ca. 172	46	72	79	0·007 —0·0088
Salicylaldehyd	13·9 (19·2)	25	34	55	61	0·0467
Isobuttersäureanhydrid	13·6	ca. 42	—	ca. 66	ca. 73	0·018
Thioessigsäure	12·8—17·3	ca. 77	—	ca. 68	ca. 74	0·0138
Benzoylessigsäureester	11·0—14·3	> 7	—	ca. 50	ca. 56	0·086 —0·097
Malonsäuredimethylester	10·3	> 25	—	—	41	0·0285
Isovaleraldehyd	10·1—11·8	—	—	—	—	(—0·0047—0·0123)
Essigsäure	6·46	(ca. 21)	—	— (17)	— (9)	0·057 —0·060
Dimethylsulfid, $(CH_3)_2S$	6·2	—	—	—	—	—
Äthylmerkaptan, C_2H_5SH	7·95	—	—	—	—	—
Aldoxim, CH_3CHNOH	3·4	—	—	—	—	—
Tetranitromethan, $C(NO_2)_4$	< 2·2	—	—	—	—	—
Schwefelsäuredimethylester	46·5	43	—	91	93	0·0230—0·0228
Schwefelsäurediäthylester	ca. 30	43	—	84	86	0·024 —0·026
Asym. Diäthylsulfit, $(C_2H_5)_2SO_3$	38·6	26·4	—	94	85	0·0325—0·0327
Salpetersäureäthylester	19·4—17·7	138 bezw. 140	—	58 (72)	67 (78)	0·0105—0·0120
Sym. Diäthylsulfit, $SO(OC_2H_5)_2$	16·0	76	—	50	61	0·0111—0·0133
Borsäuretrimethylester	8·0	(ca. 188)	—	(9)	(12)	0·0068

Wärmeleitungsfähigkeit k und dem kritischen Drucke p_k ab, während die van der Waals'sche Konstante a und das Volum v zunehmen:

Stoffe	Dielektrizitäts-Konstante	Latente Verdampfungswärme	Van der Waals Konstante a	Molekularvolumen v bei der Siedetemperatur	Kritischer Druck p_k in at.	Absolute Wärmeleitungsfähigkeit k
Wasser	81·7	536·5	5·77	18·9	200	0·154
Methylalkohol	32·5	267·5	9·53	42·8	79	0·0495
Äthylalkohol	21·7	205	15·22	62·3	62·8	0·0423
Propylalkohol	12·3	164	16·32	81·3	50·2	0·0373
Ameisensäure	57·0	103·7	—	41·1	—	0·0648
Essigsäure	6·5	89·8	17·60	63·8	57·1	0·0472
Ammoniak	16	329	4·01	29·2	115	—
Methylamin	<10·5	—	7·40	—	72	—
Äthylamin	6·17	—	9·44	—	66	—
i-Propylamin	5·45	—	13·7	85·6 (normal)	50	—
Schwefeldioxyd	14	92·5	6·61	43·9	79	—
Aceton	20·7	125·3	—	77·1	60	—
Methyläthylketon	17·8	—	11·96	—	—	—
Ameisensäuremethylester	8·87	116·1	11·38	62·7	59·25	—
Ameisensäureäthylester	8·27	99·3	15·68	84·7	46·83	0·0378
Essigsäureäthylester	5·85	86·7	20·47	106·0	38·00	0·0348
Benzol	2·26	93·5	18·36	96·2	47·9	0·0333
Toluol	2·31	83·6	24·08	118·3	41·6	0·0307
Äther	4·36	84·5	17·44	106·4	35·61	0·0303
Chloroform	4·95	58·5	14·71	84·5	55·0	0·0288
Tetrachlormethan	2·18	46·35	19·20	103·7	45·0	0·0252
Zinntetrachlorid	3·2	30·53	26·94	131·1	37·0	—

VI. Kapitel.

Elektrochemische Fundamentalgesetze.

Elektromotorische Kraft.

Von den drei Fundamentalgrößen des elektrischen Stromes ist die elektromotorische Kraft für elektrolytische Systeme besonders charakteristisch. Befinden sich solche Systeme im statischen Zustande, so daß sie von keinem Strome durchflossen werden, so spielt der Widerstand des Systemes keine Rolle und bei nicht geschlossenem Stromkreise ist die elektromotorische Kraft die einzige unter allen Umständen meßbare Größe. Sie ist überdies unabhängig von den Dimensionen des Systemes und wird nur durch die Konzentration des Elektrolyten und durch die Temperatur beeinflußt.

Bei Systemen im dynamischen Zustande kann der Widerstand, je nach den Dimensionen des Systemes, zwischen 0 und ∞ variieren, auch kann bei einer gegebenen Stromdichte noch die Stromstärke (je nach der Elektrodenoberfläche) zwischen 0 und ∞

schwanken. Hingegen ist die elektromotorische Kraft, die ihren Ursprung in chemischen Reaktionen besitzt, unveränderlich, welchen Wert auch Widerstand und Stromstärke annehmen mögen. Die elektromotorischen Kräfte sind daher charakteristisch für solche Systeme.

Im Gegensatze hiezu hängen die physikalischen Ursachen entstammenden elektromotorischen Kräfte (Peltiereffekt) von der Stromstärke ab und sind vom Widerstand des Systemes unabhängig, oder aber sie sind, wie die calorischen Wirkungen des elektrischen Stromes bei seinem Durchgange durch einen Leiter, von Widerstand und Stromstärke abhängig.

Da wir kein Meßinstrument besitzen, das ein Volt mit genügender Genauigkeit repräsentieren würde, verwenden wir zur Messung elektromotorischer Kräfte- oder Potentialdifferenzen Normalelemente, deren elektromotorische Kraft mit einer für praktische Zwecke hinreichenden Genauigkeit bestimmt wurde. Solche Normalelemente sind folgende:

Name des Elementes	negativer Pol	Elektrolyt		positiver Pol	Elektromotorische Kraft E bei 15° C in Volt
		am negativen Pol	am positiven Pol		
Daniell	Zink	$ZnSO_4$ gesättigt	$CuSO_4$ ½ gesättigt	Kupfer	1·074
Latimer Clark . .	"	$ZnSO_4$	$HgSO_4 +$ $+ ZnSO_4$	Quecksilber	1·435
Gouy	"	$ZnSO_4$	HgO	"	1·390
Helmholtz	"	$ZnCl_2$	$HgCl_2 +$ $+ ZnCl_2$	"	1
Fery und Baille . .	"	$ZnCl_2$	$PbCl_2$	Blei	0·55
Weston	Kadmiumamalgam	$CdSO_4$	$CdSO_4 +$ $+ Hg_2SO_4$	Quecksilber	1·019

Da sich die elektromotorische Kraft dieser Elemente mit der Temperatur mehr oder weniger ändert, ist es notwendig, wenn man dieselben zu Vergleichsmessungen benützt, die in der Tabelle angegebene Temperatur (mittlere Zimmertemperatur, 15° C) einzuhalten. Mit Hilfe dieser Normalelemente werden dann jene Apparate geaicht, die man zur Messung der elektromotorischen Kräfte elektrischer Systeme benützt.

A. Elektrische Systeme im statischen Zustande.

Bei jedem elektrolytischen Systeme zeigen sich bei offenem Stromkreis elektromotorische Kräfte an den Berührungsflächen zwischen den einzelnen Bestandteilen des Systemes. Ziehen wir

beispielsweise ein Daniell-Element in Betracht, so treten an den Kontaktstellen vier elektromotorische Kräfte auf, von denen drei positiv und eine negativ sind:

Daniell-Element:

Cu + $CuSO_4$ (gesättigte Lösung)	+ 0·070 Volt
$CuSO_4$ (gesättigte Lösung) + $ZnSO_4$ (gesättigte Lösung)	— 0·095 „
$ZnSO_4$ „ „ + Zn	+ 0·430 „
Zn + Cu	+ 0·750 „
	1·155 Volt

Diese Potentialdifferenz ist um 5% größer, als jene desselben Elementes, wenn es sich in Tätigkeit befindet, und es kann als allgemeine Regel angesehen werden, daß die wahre elektromotorische Kraft galvanischer Elemente von ihrer scheinbaren abweicht.

a) Elektrolytische Systeme der ersten Type (Fig. 193).

Hier ist die bei offenem Stromkreise an den beiden Platinelektroden gemessene elektromotorische Kraft Null, wenn alle Bestandteile des Elementes die gleiche Temperatur besitzen. Das rührt daher, weil die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden und deren Elektrolyten gleiche Größe aber entgegengesetztes Vorzeichen besitzen.

Haben jedoch die beiden Elektroden verschiedene Temperatur, so stellt das Element eine Thermosäule dar, in welcher kalorische Energie in elektrische umgewandelt wird und es tritt daher zwischen beiden Elektroden eine Potentialdifferenz auf.

b) Elektrolytische Systeme der IV. Type oder Konzentrationsketten (Fig. 196).

Jedes System, das aus zwei Elektrolyten gleicher Natur aber verschiedener Konzentration gebildet wird, ruft wahre elektromotorische Kraft zwischen beiden Flüssigkeiten hervor. Wird ein solches System durch einen Widerstand geschlossen, so entsteht in dem so gebildeten Schließungskreise ein elektrischer Strom, dessen Intensität sich in dem Maße vermindert, wie der Konzentrationsunterschied zwischen beiden Elektrolyten infolge der fortschreitenden Diffusion, und der auf Null sinkt, wenn die Konzentration beider Flüssigkeiten gleich geworden.

Von der Van't Hoff'schen Ansicht über die Gleichheit des Gas- und des Lösungszustandes und der Arrhenius'schen Theorie

ausgehend, gelang es Nernst, die in elektrolytischen Systemen auftretenden elektromotorischen Kräfte durch eine auf rein thermodynamischer Grundlage entwickelte Gleichung auszudrücken. Die mit derselben berechneten Werte nähern sich sehr den wirklichen elektromotorischen Kräften oder sind diesen völlig gleich.

Taucht ein Metall in einen Elektrolyten, der eines seiner Salze enthält, so kann die Lösungstension P derselben größer oder kleiner oder eben so groß sein wie der osmotische Druck p des Metallions in seiner Lösung. Es ist also

$$P > p;\ P < p \text{ oder } P = p.$$

Ist $P > p$, so wird die Lösungstension P so lange eine Auflösung des Metalles im Elektrolyten bewirken, bis infolge dieses Vorganges der osmotische Druck p mit der Lösungstension ins Gleichgewicht kommt. Die Arbeit, welche der Übergang des Ions vom Drucke P auf p bewirkt, ist dem Maximum der elektrischen Arbeit gleich, welche das System leisten kann.

Anderseits lehrt die Thermodynamik, daß ein Gasmol, wenn es bei konstanter Temperatur vom Drucke P auf den Druck p übergeht, die Arbeit

$$A_r = RT.\ln.\frac{P}{p}$$

leistet. (T = absolute Temperatur, R = 0·847 ist die Gaskonstante in Meterkilogramm).

Da diese Gleichung auch für die Ionen gilt, ergibt sich für die elektrische Arbeit, welche 1 Mol des eingetauchten Körpers bei konstanter Temperatur leisten kann

$$A_r = R.T.\ln\frac{P}{p}\ mkg,$$

oder, wenn man diese Arbeit in Joules ausdrückt (1 *mkg* = 9·81 Joules) und A_r durch εQ ersetzt*)

$$\varepsilon Q = R \times 9{\cdot}81 \times T.\ln\frac{P}{p}$$

$$\varepsilon = \frac{9{\cdot}81}{Q} RT.\ln\frac{P}{p}\ \text{Volt}.$$

Das ist die Nernst'sche Gleichung, die sich noch weiter, wie folgt, transformieren läßt. Bedenkt man nämlich, daß hier nur ein einziges Gramm-Ion in Betracht kommt und bezeichnet man mit n die Valenz desselben, so ist offenbar die Elektrizitätsmenge $Q = 96540\,n$ und wir können somit auch schreiben:

*) ε = elektrische Spannung zwischen Metall und Lösung, $Q = J\,\Theta$ die bei der Lösung von 1 Mol frei werdende Elektrizitätsmenge.

$$\varepsilon = \frac{9{\cdot}81}{96540\,n} . R . T . \ln . \frac{P}{p}$$
$$= \frac{9{\cdot}81 \times 0{\cdot}847}{96540\,n} . T . \ln \frac{P}{p}$$
$$= \frac{0{\cdot}0000861}{n} . T . \ln \frac{P}{p}.$$

Für gewöhnliche Lufttemperatur (17° C) wird $T = 273 + 17 = 290^0$ abs. Substituiert man diesen Wert in die Gleichung und dividiert durch 2·30259, um zum gemeinen Logarithmus zu gelangen, so erhält man:

$$\varepsilon = \frac{0{\cdot}0575}{n} . \log \frac{P}{p} \text{ Volt.}$$

Polarisatiosspannung zwischen zwei Metallen, von denen jedes mit einem seiner Salze in Kontakt steht. (Umkehrbare Elemente des Typus Daniell.) Bezeichnen wir die entsprechenden Werte für beide Metalle mit P, p, n und P′, p′ und n′, so ist die elektromotorische Kraft des Elementes e gegeben durch die algebraische Summe der partiellen Spannungen, ε und ε', wobei ε' negatives Vorzeichen erhält.

$$e = \varepsilon - \varepsilon'$$
$$= \frac{0{\cdot}0575}{n} \log \frac{P}{p} - \frac{0{\cdot}0575}{n'} \log \frac{P'}{p'}.$$

In dieser Gleichung ist die geringe elektrische Spannung zwischen den beiden Flüssigkeiten vernachlässigt.

Wir können auch, beispielsweise im Daniell-Elemente, e als Funktion der Ionenkonzentrationen von Zink und Kupfer (c_1 und c_2) statt als Funktion der osmotischen Ionendrucke p und p′ darstellen, Bezeichnet man die Dissoziationsgrade der Lösungen mit δ_1 und δ_2, so erhält man:

$$e = \frac{0{\cdot}0575}{n} \left[\log \frac{P}{\delta_1\ c_1} - \log \frac{P'}{\delta_2\ c_2}\right]$$
$$= \frac{0{\cdot}0575}{n} \left[\log \frac{P}{P'} - \log \frac{\delta_1\ c_1}{\delta_2\ c_2}\right].$$

Konzentrationsketten sind bekanntlich solche, die aus zwei Lösungen desselben Salzes von verschiedener Konzentration bestehen, in deren jede eine Elektrode taucht, die aus dem Metalle besteht, welches in dem verwendeten Salze enthalten ist. Hier ist $P = P'$, und die Nernst'sche Gleichung reduziert sich daher zu:

$$e = \frac{0{\cdot}0575}{n} \log \frac{\delta_1 . c_1}{\delta_2 . c_2}.$$

Hieraus folgt, daß hier die Natur der Ionen keinen Einfluß auf den Wert von e besitzt, daß dieser also einzig und allein von der Ionenkonzentration der Lösung abhängt. Wir haben es hier also mit jener Arbeit zu tun, welche dem Übergange der gelösten Ionen von der Konzentration in der einen Lösung zu jener Konzentration, die sie in der zweiten Lösung besitzen, entspricht.

Die Nernst'sche Gleichung ist auf reversible Elemente anwendbar und bewahrheitet sich in allen Fällen, sie kann also ebenso bei Apparaten, die als Elektrizitätsgeneratoren dienen, als bei elektrolytischen Zellen benützt werden. Sie stellt — ebenso wie die Thomson'sche Regel — einen Näherungsausdruck des Gesetzes der Erhaltung der Energien dar.

Um den Einfluß der Temperatur auf die elektromotorische Kraft zu ermitteln, gehen wir wieder von unseren bekannten Gleichungen

$$U = A - Q$$

und

$$d\,A = \frac{Q\,.\,d\,T}{T}$$

aus, deren Verbindung uns zu den Ausdrücken

$$Q = A - U = \frac{T\,.\,d\,A}{d\,T}$$

oder

$$A = U + \frac{T\,.\,d\,A}{d\,T}$$

führt.

Die Änderung der freien Energie, A, ist hier pro umgesetzten Grammäquivalent gleich der entwickelten Elektrizitätsmenge

$$\begin{aligned} A &= e\,.\,J \\ &= 96540\,e. \end{aligned}$$

Setzen wir für n die Wärmeentwicklung der chemischen Reaktion, $\frac{Q^{*)}}{n}$, so erhalten wir:

$$96540\,e - \frac{Q}{n} = T\,\frac{d\,e}{d\,T}$$

oder

$$e = \frac{Q}{96540\,n} + T\,\frac{d\,e}{d\,T}.$$

*) Gleichfalls auf 1 Grammäquivalent bezogen.

B. Elektrolytische Systeme im dynamischen Zustande.

Wir wollen zunächst daran erinnern, daß wir zwei Typen von elektrolytischen Systemen unterscheiden, bei denen die chemische Reaktion die Hauptrolle spielt:

1. Elektrizitätsgeneratoren, d. h. elektrolytische Systeme, bei welchen die chemische Reaktion oder die Summe der auftretenden Reaktionen eine Wärmeentwicklung hervorruft, deren Umwandlung in elektrische Energie den elektrischen Strom liefert.*)

2. Elektrizitätsrezeptoren, d. h. elektrische Systeme, bei denen die chemische Reaktion durch Wärmeabsorption hervorgerufen wird: Die hiezu erforderliche calorische Energie liefert der elektrische Strom. Die gelösten oder geschmolzenen Elektrolyten, auf welche man eine durch eine Elektrizitätsquelle konstant erhaltene elektromotorische Kraft einwirken läßt, gehören in diese Gruppe.

Unter reversiblen Systemen versteht man solche, die abwechselnd nach beiden Arten wirken können.

Die umkehrbaren Elemente im besonderen liefern einen Strom bis zur völligen Erschöpfung der Bestandteile oder wenigstens eines ihrer Bestandteile. Läßt man dann den Strom in entgegengesetzter Richtung zu dem von ihnen früher gelieferten durch sie fließen, so werden sie elektrolysiert und so in ihren ursprünglichen Zustand zurückgeführt.

Gleichzeitig mit den chemischen Reaktionen, also neben denselben, können in manchen Systemen auch physikalische Veränderungen eintreten, die sich in der Absorption oder Entwicklung von kalorischer Energie äußern und die in gewissen Fällen die Natur des elektrolytischen Systemes ändern können. Hieher gehört beispielsweise die Änderung der elektromotorischen Kraft mit der Temperatur. Anderseits gibt es aber auch Beispiele von Systemen mit endothermischen chemischen Reaktionen, die also nach unserer früheren Definition in die zweite Gruppe gehören und doch als galvanische Elemente wirken; aber auch solche, die zwar exothermische Reaktionen zur Grundlage haben, aber mehr Strom liefern, als dieser Wärmetönung entspricht, die also, trotzdem sie unter Wärmeentwicklung reagieren, doch unter Abkühlung arbeiten, d. h. von außen Wärme aufnehmen, die ebenfalls in elektrische Energie umgewandelt wird.

*) Strenge genommen, kommt es hier gar nicht zu einer Wärmeentwicklung, indem die chemische Energie unmittelbar in elektrische umgewandelt wird.

Die Verteilung der elektromotorischen Kraft in einem elektrolytischen Systeme wird, gleichgültig, in welche Gruppe dasselbe auch gehören mag, durch eine und dieselbe Gleichung ausgedrückt, und der überwiegende Teil der auftretenden elektromotorischen Kraft ist von der Natur der chemischen Reaktionen (d. h. von deren Wärmetönung) abhängig, die sich in derselben vollziehen.

1. Elemente oder elektrolytische Systeme mit exothermen chemischen Reaktionen.

Setzen wir
die elektromotorische Kraft $= E$ (Volt),
den inneren Widerstand des Elementes (zwischen beiden Polen gemessen) $= r$ (Ohm),
den äußeren Widerstand $= R$ (Ohm),
die Stromstärke $= J$ (Ampère),
so ist nach dem Ohm'schen Gesetze:

$$\begin{aligned} E &= (r + R)\,J \\ &= rJ + RJ. \end{aligned}$$

Bezeichnen wir die Potentialdifferenz an den beiden Polen des Elementes, d. i. an der Ein- und Austrittstelle des Stromes in den äußeren Widerstand R mit ε, so ist

$$\varepsilon = RJ$$

oder

$$E = rJ + \varepsilon.$$

Ändert man den Widerstand R, so ändert sich auch die Stromstärke, und zwar im umgekehrten Verhältnisse zu $(r + R)$. E bleibt konstant, wenn J nicht so große Werte annimmt, daß im Elektrolyten Nebenreaktionen auftreten, wie dies beispielsweise bei den Polarisationserscheinungen der Fall ist, die sich in einer Verkleinerung von E oder in einer Vergrößerung von r äußern.

Aus der Konstanz der elektromotorischen Kraft innerhalb jener Intensitätsgrenzen, welche keine Störung des Reaktionsverlaufes hervorrufen, ergibt sich, daß die elektromotorische Kraft einzig und allein von der chemischen Reaktion abhängt.

Wir beziehen wieder die Summe der durch diese Reaktion entwickelten Wärmemengen A_k auf 1 Grammäquivalent. Ist die Umwandlung dieser calorischen Arbeit, A_k, in elektrische Energie von keiner anderen physikalischen Zustandsänderung begleitet, welche beim Passieren des Stromes durch den Widerstand $(r + R)$ Wärme produziert oder absorbiert, so wird die vom Strome pro

umgesetztem Grammäquivalent gelieferte Elektrizitätsmenge 96540 Coulomb sein, und wir erhalten die Gleichung:

$$A_k = (r + R)\, J^2\, \Theta \times \frac{0{\cdot}2387}{1000} \text{ Calorien,}$$

$$= (r + R)\, J . J\Theta \times \frac{0{\cdot}2387}{1000} \text{ Calorien,}$$

oder, weil $(r + R)\, J = E$ und $J\, \Theta = 96540$ ist,

$$A_k = \frac{96540 \times 0{\cdot}2387}{1000}\, E.$$

Für $E = 1$ Volt wird also

$$A_k = 23{\cdot}04 \text{ Calorien.}$$

Wenn also die reagierenden Bestandteile eines galvanischen Elementes für jedes umgesetzte Grammäquivalent 23·04 *kg* Calorien entwickeln, so ist die elektromotorische Kraft des Elementes 1 Volt.

Der reziproke Wert $\frac{1}{23{\cdot}04} = 0{\cdot}0434$ wird auch thermischer Koeffizient des Volt genannt.

Ist A_k die Volta'sche Wärme eines Elementes, bei welchem die Verteilung der elektrischen Energien in obgeschilderter Weise erfolgt, so ist:

$$E = 0{\cdot}0434\, A_k.$$

Das ist die Thomson'sche Regel (1851).

Nur wenige galvanische Elemente folgen jedoch dieser Regel mit hinreichender Genauigkeit, und hieraus folgt, daß die in denselben auftretenden chemischen Reaktionen von physikalischen Vorgängen begleitet sein müssen, welche eine Entwicklung oder Absorption von Wärme hervorrufen. In ersterem Falle ist die tatsächlich auftretende elektromotorische Kraft kleiner, in letzterem Falle aber größer, als die so berechnete.

Diese physikalischen Vorgänge können sehr verschiedenartig sein, wie Druckerscheinungen (Spannungen) in dem Metalle, das sich in manchen Elementen an einem Pole ablagert, Polarisationserscheinungen, Peltier-Effekt an der Berührungsstelle der verschiedenen Teile des Elementes, Wärmetransport (Thomson'sches Phänomen), Einfluß der Temperatur, etc.

Die vier ersten dieser Vorgänge können wenigstens für geringe Stromstärken als vernachlässigbar angesehen werden. Das ist jedoch nicht tunlich bei dem Einflusse der Temperatur auf die elektromotorische Kraft, die von der Stromstärke unabhängig ist.

Gibbs (1875) und Helmholtz (1882) haben gezeigt, daß bei umkehrbaren Elementen die elektromotorische Kraft durch die Gleichung

$$E = 0{\cdot}0434\, A_k + T \frac{dE}{dT}$$

gegeben ist, in welcher T die absolute Temperatur und $\frac{dE}{dT}$ die Änderung der elektromotorischen Kraft mit der Temperatur bedeutet.

Können wir also auch die anderen physikalischen Vorgänge vernachlässigen, so wird die Thomson'sche Regel doch nur dann strenge Geltung haben, wenn der Temperaturkoeffizient $\frac{dE}{dT} = 0$ wird. Wir wollen in dieser Beziehung einige Beispiele betrachten.

1. Beispiel: Chorsilberelement (Jahn, 1893).

Das Element besteht aus:

$$Ag \mid AgCl \mid ZnCl_2 + 100\, H_2O \mid Zn.$$

Seine elektromotorische Kraft bei 0° ist $E_0 = 1{\cdot}015$ Volt, sein Temperaturkoeffizient $\frac{dE}{dT} = -\,0{\cdot}000402$, d. h. für jeden Grad Temperaturerhöhung vermindert sich die elektromotorische Kraft um 0·000402 Volt.

Die Reaktionswärme A_k ergibt sich aus der Reaktionsgleichung

$$\tfrac{1}{2}\, Zn + AgCl = Zn\, \tfrac{1}{2}\, Cl + Ag$$

zu 26·02 Cal. Nach der Thomson'schen Regel finden wir daher

$$\begin{aligned} E_1 &= 26{\cdot}02 + 0{\cdot}0434 \\ &= 1{\cdot}1293 \text{ Volt.} \end{aligned}$$

Die berechnete elektromotorische Kraft ist daher größer als die gefundene. Hingegen erhält man unter Benützung des Helmholtzschen Korrektionsgliedes für $t = 0\ (T = 273)$:

$$\begin{aligned} T \frac{dE}{dT} &= -\,0{\cdot}000402 \times 273 \\ &= -\,0{\cdot}1097 \end{aligned}$$

den Wert:

$$\begin{aligned} E &= 1{\cdot}1293 - 0{\cdot}1097 \\ &= 1{\cdot}02 \text{ Volt,} \end{aligned}$$

was dem gemessenen Werte nahe entspricht.

2. Beispiel: Bugarsky-Element (1897).

Zusammensetzung des Elementes:

$$Hg \mid Hg_2Cl_2 + KCl \mid KNO_3 \mid KOH + Hg_2O \mid Hg.$$

Elektromotorische Kraft bei 18·5° C

$$E = 0{\cdot}1636 \text{ Volt}$$

$$\frac{dE}{dT} = +0{\cdot}000837$$

Wärmetönung der Reaktion:

$$\tfrac{1}{2} Hg_2Cl_2 + KOH = \tfrac{1}{2} H_2O + Hg_2O + KCl.$$

$$A_k = -1{\cdot}64 \text{ Cal.}$$

Die Thomson'sche Regel gibt

$$E_1 = -1{\cdot}64 \times 0{\cdot}0434$$
$$= -0{\cdot}0712;$$

ein derartiges Element könnte somit keinen Strom liefern. Mit Hilfe der Korrektion von Gibbs und Helmholtz erhält man hingegen:

$$E = -0{\cdot}071 + 0{\cdot}000837\ (273 + 18{\cdot}5)$$
$$= -0{\cdot}071 + 0{\cdot}2439$$
$$= 0{\cdot}1729 \text{ Volt,}$$

was mit dem gemessenen Werte befriedigend übereinstimmt.

Das Element entlehnt also aus der Umgebung die für die chemische Reaktion erforderliche Energie und überdies auch noch jene, die sie als elektrische im Strom abgibt. Das Element hat daher die Neigung sich abzukühlen, und wenn es konstante elektromotorische Kräfte liefern soll, so muß es sich in einer unendlich großen Umgebung von konstanter Temperatur befinden, so daß die Temperatur und damit auch die elektromotorische Kraft des Elementes konstant bleibt.

Zusammenfassend ergibt sich hieraus, daß die galvanischen Elemente mit endothermischen chemischen Reaktionen nicht, wie die anderen, als Transformatoren potentieller chemischer Energie in aktuelle elektrische, sondern als Transformatoren von Wärme in elektrische Energie funktionieren.

3. Beispiel: Daniell-Element.

Elektromotorische Kraft bei 0° C

$$E = 1{\cdot}09 \text{ bis } 1{\cdot}1 \text{ Volt.}$$

Die Thomson'sche Regel gibt:

$$E_1 = 1{\cdot}085 \text{ Volt.}$$

Ferner ist

$$\frac{dE}{dT} = 0{\cdot}000034,$$

somit finden wir nach Gibbs und Helmholtz:

$$E = 1{\cdot}085 + 0{\cdot}0093$$
$$= 1{\cdot}0943 \text{ Volt.}$$

4. Beispiel: Bleiakkumulatoren.

Enthält die elektrolytische Lösung weniger als 1·4 Äquivalent Schwefelsäure pro Liter (spezifisches Gewicht = 1·044), so ist der Temperaturkoëffizient negativ; bei 1·4 Äquivalent ist er gerade Null, bei größeren Konzentrationen wird er positiv.

α) Der Elektrolyt enthält 1·4 äquivalente Säure pro Liter.

Die positive Elektrode besteht aus PbO_2, die negative aus Blei, der Elektrolyt aus verdünnter Schwefelsäure (spez. Gew. = 1·044).

Die Reaktion:

$$PbO_2 + Pb + H_2SO_4 = 2\,PbSO_4$$

entwickelt pro Grammäquivalent 43·87 Cal.

Die Thomson'sche Regel gibt:

$$E = 43{\cdot}87 \times 0{\cdot}0434$$
$$= 1{\cdot}904 \text{ Volt,}$$

während man durch Messung fand: E = 1·89 bis 1·90 Volt.

β) Gewöhnlich verwendet man Schwefelsäure von 1·15 spez. Gew. In diesem Falle beträgt die Reaktionswärme

$$A_k = 43{\cdot}60 \text{ Cal.}$$

und der Temperaturkoëffizient

$$\frac{dE}{dT} = 0{\cdot}0004.$$

Nach Gibbs und Helmholtz findet man für 17° C

$$E = 43{\cdot}6 \times 0{\cdot}0434 + 0{\cdot}0004 \times 290$$
$$= 1{\cdot}892 + 0{\cdot}116$$
$$= 2{\cdot}008 \text{ Volt.}$$

während die direkte Messung bei 17° ergab: 2·004 Volt. Die Übereinstimmung zwischen dem berechneten und unmittelbar gemessenen Werte ist also eine ausgezeichnete.

2. Elektrolytische Systeme im engeren Sinne, d. s. solche mit endothermischen Reaktionen.

Wir wollen solche elektrolytische Systeme betrachten, deren Elektroden gleiche Natur und Größe besitzen. Hiedurch vermeiden

wir jene Störungen, welche durch physikalische Vorgänge bewirkt werden können, da diese hier für beide Elektroden gleich, aber von entgegengesetztem Vorzeichen sind, sich also gegenseitig aufheben.

Haben wir es mit einem gelösten Elektrolyten zu tun, so können die Elektroden aus einem Metalle oder aus Kohle hergestellt sein; bei geschmolzenen Elektrolyten benützt man jedoch nur Kohlenelektroden.

Bei der Elektrolyse gelöster Elektrolyten mit Metallelektroden sind zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem letztere aus den im Elektrolyten enthaltenen Metalle hergestellt sind oder nicht.

α) Die positive Elektrode besteht aus einem im Elektrolyten enthaltenen Metalle. — Wird ein derartiges System von einem Strome durchflossen, so löst sich an der positiven Elektrode eben so viel Metall, als an der negativen Elektrode ausgeschieden wird. Während also der Elektrolyt durch den Strom zersetzt wird, erneuert er sich gleichzeitig wieder.

Die Summe der chemischen Energien dieser beiden entgegengesetzten Reaktionen ist Null; das elektrische System wirkt wie ein metallischer Widerstand und man kann daher auf ihn das Ohm'sche Gesetz anwenden. Es bezieht sich hier annähernd auf die mechanische Arbeit, welche dem Metalltransporte von einer Elektrode zur anderen entspricht.

Ist ε die durch eine passende Elektrizitätsquelle konstant erhaltene Potentialdifferenz an beiden Elektroden, J die mittlere Stromstärke (für Kupfer beispielsweise 0·01 Ampère pro 1 cm^2 und r der innere Widerstand des Systemes, so gilt:

$$\varepsilon = r \cdot J.$$

Bei geschmolzenen Elektrolyten und Kohlenelektroden gilt das Ohm'sche Gesetz für sehr geringe Stromstärken gleichfalls, da in diesem Falle keine Polarisation auftritt.

β) Die positive Elektrode besteht aus einem anderen Metalle als dem des Elektrolyten und ist unangreifbar, oder sie besteht aus einem ganz anderen, unangreifbaren Leiter, wie Kohle. Die elektrische Energie, welche dem Systeme durch einen Strom zugeführt wird, der genügende elektromotorische Kraft besitzt, um die Zersetzung des Elektrolyten zu bewirken, wandelt sich in zwei verschiedene Arbeitsgrößen um: in calorische Arbeit, die von der Überwindung des Systemwiderstandes durch den elektrischen Strom herrührt, und

in chemische Arbeit, die für eine gegebene Strommenge der Zersetzungswärme des Elektrolyten proportional ist.

Ist ε die Potentialdifferenz an den Elektroden, r der innere Widerstand des Systemes und E eine elektromotorische Gegenkraft, deren Größe von der Natur des Elektrolyten abhängt, so besteht zwischen der Größe der elektrischen Gesamtarbeit (ε J) pro Sekunde und den partiellen Arbeiten der chemischen Zersetzung (E J) und der Wärmeleistung ($r J^2$) die Beziehung:

$$\varepsilon J = E J + r J^2$$

oder

$$\varepsilon = E + r J$$

als Grundgleichung für unser System.

Bei gelösten Elektrolyten ist diese Gleichung jedoch nur dann anwendbar, wenn wir es mit sehr geringen Stromdichten (Intensität pro 1 cm^2 Elektrodenoberfläche) zu tun haben. Bei geschmolzenen Elektrolyten hingegen ist die Gleichung bis zu weit größeren Stromdichten anwendbar.

C. Bestimmung der elektromotorischen Kraft E.

Die elektromotorische Kraft kann entweder durch Rechnung (nach der Thomson'schen Regel) oder durch direkte Messung ermittelt werden.

Bezeichnet A_k die Bildungswärme von 1 Ionenäquivalent der betreffenden Verbindung, so ist nach dem früheren

$$E = 0{\cdot}0434 . A_k.$$

Die im Elektrolyten auftretenden Reaktionen sind meist sehr einfacher Natur, indem dieselben nur in der Trennung von Anion und Kathion bestehen, wenn nicht bei der Abscheidung der Ionen an den betreffenden Elektroden Nebenreaktionen auftreten. Um E zu finden, braucht man dann nur die aus den thermochemischen Tabellen entnommenen Bildungswärmen der in Frage stehenden Elektrolyten (die sich auf ein Mol derselben beziehen) durch die Valenz des elektronegativen Bestandteiles zu dividieren und den so erhaltenen Wert von A_k mit 0·0434 zu multiplizieren.

Ist die elektrolytische Hauptreaktion von Nebenreaktionen begleitet, die auf die elektromotorische Kraft des Stromes einwirken, entstehen also elektromotorische Gegenkräfte (die ein verschiedenes Vorzeichen besitzen können), so ist die Berechnung heikler. Ist man über die wahre Natur der sekundären Reaktionen im Zweifel, so bestimmt man E experimentell und kann so wert-

volle Hinweise erhalten, die für die Praxis oft zur Aufklärung dieser Nebenreaktionen hinreichen.

Einige einfache Beispiele sollen dies erläutern, wobei wir voraussetzen wollen, daß die elektrolytische Reaktion nicht von physikalischen Veränderungen begleitet sei, welche die elektromotorische Gegenkraft des Systemes beeinflussen können.

Die folgende Tabelle enthält die Bildungswärmen A_k einiger Verbindungen pro Grammäquivalent in großen Calorien, die in der Elektrochemie und Elektrometallurgie häufig benützt werden, sowie die Lösungswärme der wichtigsten Oxyde in Salzsäure und Schwefelsäure:

Verbindung	Bildungswärme		Lösungswärme		Verbindung	Bildungswärme		Verbindung	Bildungswärme	
	fest	gelöst	fest	gelöst		fest	gelöst		fest	gelöst
Oxyde					Chloride			Fluoride		
$1/2\ K_2O$ …	49·1	82·6	13·7	15·9	KCl …	105·7	101·2	KF …	118·1	114·5
$1/2\ Na_2O$ …	45·5	82	13·7	15·7	NaCl …	97·9	96·6	NaF …	110·8	109·9
$1/2\ CaO$ …	67·5	76·6	14	15·6	$1/2\ CaCl_2$.	86·7	95·5	$1/6\ Na_2F_6$.	83·2	—
$1/2\ BaO$ . .	66·7	80·8	13·9	18·4	$1/2\ BaCl_2$ …	98·6	99·5	$1/4\ CF_4$ …	33·4	—
$1/2\ MgO$ …	71·7	—	13·8	15·6	$1/2\ MgCl_2$.	75·6	93·6			
$1/6\ Al_2O_3$ …	65·5	—	9·3	10·5	$1/6\ Al_2Cl_6$.	54	79·4	Verschiedene		
$1/2\ FeO$ . .	34·5	—	10·7	12·5	$1/2\ FeCl_2$ …	41·1	50·1			
$1/2\ NiO$ …	30·8	—	11·3	13·1	$1/2\ NiCl_2$ …	37·4	47·5	AgCy …	23·2	26·6
$1/2\ CdO$ …	33·2	—	10·1	11·9	$1/2\ CdCl_2$.	46·9	48·2	HCl …	22	39·4
$1/2\ ZnO$ …	42·4	—	9·8	11·7	$1/2\ ZnCl_2$.	48·7	56·5	HNO_3 .	42·2	48·8
$1/2\ CuO$.	19·9	—	7·5	9·2	$1/2\ CuCl_2$.	25·7	31·2	$1/2\ H_2SO_4$.	96·6	105·1
$1/2\ HgO$ …	10·8	—	9·5	—	$1/2\ HgCl_2$.	26·7	25·3	$1/4\ CO_2$ …	24·4	25·8
$1/2\ Ag_2O$ …	3·5	—	20·1	7·2	AgCl …	29	—	$1/2\ CO$ …	14·7	—
								$1/4\ SiO_2$ …	44·9	—
								$1/2\ H_2O$ …	35·2	34·5

Elektrolyse von Lösungen.

1. **Der elektropositive Bestandteil wird im metallischen Zustande abgeschieden und vom Elektrolyten nicht angegriffen; der elektronegative Bestandteil verursacht keine elektrolytische Reaktion.**

Hier sind zwei Fälle möglich:

a) Das elektronegative Element ist ein Halogen; die elektrolytische Tätigkeit reduziert sich auf die Ablagerung des Metalles an der negativen Elektrode und auf die Abscheidung von freiem Halogen an der positiven Elektrode:

Elektrolyt	Reaktion	Reaktionswärme in großen Calorien	elektromot. Kraft in Volt = 0·0434 A_k
$FeCl_2$	$^1/_2\,[Fe + Cl_2]$	50·1	2·174
$CuCl_2$	$^1/_2\,[Cu + Cl_2]$	31·2	1·353
$ZnCl_2$	$^1/_2\,[Zn + Cl_2]$	56·6	2·452

b) Der elektronegative Bestandteil ist ein sauerstoffhaltiges Radikal, der Elektrolyt ist also ein Sauerstoffsalz. Die Reaktionswärme A_k berechnet sich aus zwei Größen: aus der Bildungswärme des abgeschiedenen Metalloxydes und aus der Lösungswärme des Oxydes in der Säure, die an der positiven Elektrode in Freiheit gesetzt wird.

Elektrolyt	Reaktion	Reaktionswärme in großen Calorien	elektromot. Kraft in Volt = 0·0434 A_k
$FeSO_4$ . . .	$^1/_2\,[Fe + O] + {}^1/_2\,[FeO + H_2SO_4]$	[34·5 + 12·5] = 47	2·040
$CuSO_4$ . . .	$^1/_2\,[Cu + O] + {}^1/_2\,[CuO + H_2SO_4]$	[19·9 + 9·2] = 29·1	1·263
$ZnSO_4$ . . .	$^1/_2\,[Zn + O] + {}^1/_2\,[ZnO + H_2SO_4]$	[42·4 + 11·7] = 54·1	2·348

2. Die positive Komponente zersetzt Wasser bei ihrer Ankunft am negativen Pole und verwandelt sich in Hydroxyd.

a) Der negative Bestandteil ist ein Halogen. Die elektrolytische Reaktionswärme A_k besteht aus drei Gliedern, von denen zwei positiv sind (die elektrolytische Zersetzungswärme und die Zersetzungswärme des Wassers), die dritte (Bildungswärme des Oxydes) aber negativ ist.

Elektrolyt	Reaktion
KCl	$[K + Cl] + [K + H_2O = KOH + H]$
$^1/_6\,Al_2Cl_6$	$^1/_6\,[Al_2 + Cl_6] + {}^1/_6\,[Al_2 + 3\,H_2O = Al_2\,(OH)_6 + H_6]$

Reaktionswärme in großen Calorien	Elektromotorische Kraft in Volt = 0·0434 A_k
[101·2 + 34·5 — 82·6] = 53·1	2·305
[79·4 + 34·5 — 65·5] = 48·4	2·100

b) Der elektronegative Bestandteil ist ein sauerstoffhaltiges Radikal. A_k besteht aus zwei Gliedern: der Lösungswärme des Oxydes in der Säure und der Zersetzungswärme des Wassers, weil die Bildungswärme des Oxydes eben so groß, aber von entgegengesetztem Vorzeichen ist, wie die Zersetzungswärme desselben:

Elektrolyt	Reaktion
K_2SO_4	$^1/_2\,[K_2 + O] + [K + H_2O = KOH + H] + {}^1/_2\,[K_2O + SO_3]$

Reaktionswärme in großen Calorien	Elektromotorische Kraft in Volt = 0·0434 A_k
[15·85 + 34·5] = 50·35	2·185

Elektrolyse geschmolzener Elektrolyten.

Die Berechnung der elektromotorischen Gegenkraft erfolgt eben so, wie früher, doch muß sein A_k in bezug auf den festen Zustand in Rechnung gezogen werden.

1. Es tritt eine einzige Reaktion ein:

Elektrolyt	Reaktion	A_k (fest)	$E = 0{\cdot}0434\ A_k$
KCl	$[K + Cl]$	105·7 Cal.	4·587 Volt
NaCl	$[Na + Cl]$	97·9 „	4·249 „
Al_2Cl_6	$^1/_6\,[Al_2 + Cl_6]$	54 „	2·344 „

2. Es treten zwei Reaktionen auf:

Als Beispiel wählen wir die Elektrolyse von geschmolzenem Kryolith zwischen Kohlenelektroden. Das Aluminium lagert sich am negativen Pole ab, der Sauerstoff verbrennt bei seiner Abscheidung die Kohle der positiven Elektrode. A_k besteht hier aus zwei Gliedern, der (positiven) Zersetzungswärme von Al_2O_3 und der (negativ zu nehmenden) Bildungswärme von Kohlensäure.

Elektrolyt	Reaktion	A_k
Al_2O_3	$^1/_6\,[Al_2 + O_3] + {}^1/_4\,[O_2 + C = CO_2]$	$[65{\cdot}5 - 24{\cdot}4] = 41{\cdot}1$

$$E = 0{\cdot}0434\ A_k$$
$$1{\cdot}784 \text{ Volt.}$$

Mischungen mehrerer Elektrolyten.

Läßt man auf elektrolytische Systeme, die aus einer Mischung mehrerer Elektrolyten bestehen, einen elektrischen Strom einwirken, dessen elektromotrische Kraft man allmählich von Null an erhöht, so werden jene Elektrolyten zuerst ausgeschieden, deren Bildungswärme am kleinsten ist (Sprague).

Haben wir z. B. in der elektrolytischen Lösung:

$^1/_2\,CuCl_2$	$A_k = 31{\cdot}2$ Cal.	$E = 1{\cdot}353$ Volt
$^1/_2\,FeCl_2$	$= 50{\cdot}1$ „	$= 2{\cdot}174$ „
$^1/_2\,ZnCl_2$	$= 56{\cdot}6$ „	$= 2{\cdot}452$ „
KCl	$= 101{\cdot}2$ „	$= 4{\cdot}39$ „

so geht bis 1·353 Volt überhaupt kein Strom durch den Elektrolyten, weil die elektromotorische Kraft des Stromes kleiner ist, als die elektromotorische Gegenkraft der Zersetzung von $CuCl_2$. Von 1·353 bis 2·174 Volt wird nur $CuCl_2$ zersetzt, und wenn man den Strom hinreichend lang zwischen diesen Grenzen erhält, so wird man das Kupfer vollständig aus der Lösung entfernen können,

worauf so lange kein Strom durch den Elektrolyten geht, bis seine elektromotorische Kraft über 2·174 Volt gestiegen ist. Weiter wird dann zwischen 2·174 und 2·452 Volt das $FeCl_2$, zwischen 2·452 und 4·39 Volt das $ZnCl_2$, über 4·39 Volt aber das KCl zerlegt.

Um die Reihenfolge der sukzessiven Metallfällungen zu erhalten, dürfen jedoch die sekundären elektrolytischen Reaktionen nicht in Betracht gezogen werden. In unserem Falle wird beispielsweise das KCl zuletzt zersetzt, weil seine Bildungswärme = 101·2 Cal. (E = 4·39 Volt) ist. Würde man die sekundären Reaktionen mitberücksichtigen, so ergäbe sich die Reaktionswärme zu 53·1 Cal. (E = 2·305 Volt) und das Chlorkalium müßte daher gleichzeitig mit dem $ZnCl_2$ (2·452 Volt) zerlegt werden. Bei dieser niederen Spannung tritt jedoch die Zerlegung von KCl nur dann ein, wenn es allein zugegen ist. Die einzelnen elektromotorischen Kräfte, die bei der Zerlegung von Elektrolytgemischen in Frage kommen, sind daher nur von den elektrolytischen Hauptreaktionen abhängig.

Die experimentelle Bestimmung der elektromotorischen Gegenkraft E beruht auf folgendem: Läßt man auf ein elektrolytisches System eine elektromotorische Kraft ε einwirken, die kleiner ist, als der nach der Thomson'schen Regel berechnete Wert von E, so geht kein Strom durch den Elektrolyten und ein in den Stromkreis eingeschaltetes empfindliches Galvanometer zeigt daher keinen Ausschlag.

Vergrößert man die elektromotorische Kraft allmählich, so erreicht man endlich einen Punkt, bei dem die Galvanometernadel plötzlich ausschlägt. Hält man von diesem Augenblicke an ε konstant, so bleibt der Galvanometerausschlag einige Zeit gleich und zeigt den Durchgang eines kontinuierlichen Stromes an. Jetzt ist ε größer als die gesuchte elektromotorische Gegenkraft E, und es gilt die Gleichung

$$\varepsilon = E + rJ.$$

Geben wir unserem elektrolytischen Systeme eine solche Anordnung, daß sein innerer Widerstand nur sehr klein ist (z. B. 0·01 Ohm) und benützen wir ein so empfindliches Galvanometer, daß es einen Strom von 0·01 Ampère noch anzeigt, so wird

$$\varepsilon = E + 0{\cdot}0001.$$

Unter solchen Umständen kann man dann einfach $\varepsilon = E$ setzen.

Die folgende Tabelle gibt die von Le Blanc gemessenen elektromotorischen Gegenkräfte (Polarisationsspannungen) einiger Elektrolyten:

Salze:			Säuren:		
$ZnSO_4$	= 2·35	Volt	H_2SO_4	= 1·67	Volt
$ZnBr_2$	= 1·80	"	HNO_3	= 1·69	"
$NiSO_4$	= 2·09	"	H_3PO_4	= 1·70	"
$NiCl_2$	= 1·85	"	Monochloressigsäure	= 1·72	"
$Pb(NO_3)_2$	= 1·52	"	Dichloressigsäure	= 1·66	"
$AgNO_3$	= 0·70	"	Malonsäure	= 1·64	"
$Cd(NO_3)_2$	= 1·98	"	Überchlorsäure	= 1·65	"
$CdSO_4$	= 2·03	"	Rechtsweinsäure	= 1·62	"
$CdCl_2$	= 1·88	"	Brenztraubensäure	= 1·57	"
$CoSO_4$	= 1·92	"	Trichloressigsäure	= 1·51	"
$CoCl_2$	= 1·78	"	Salzsäure	= 1·31	"
			Stickstoffwasserstoffsäure	= 1·29	"
			Oxalsäure	= 0·95	"
			Bromwasserstoffsäure	= 0·94	"
			Jodwasserstoffsäure	= 0·52	"

Basen:

Natronlauge	= 1·69	Volt
Kalilauge	= 1·67	"
Ammoniak	= 1·74	"
0·25 n. Methylamin	= 1·75	"
0·5 " Diäthylamin	= 1·68	"
0·125 " Tetramethylammoniumhydrat	= 1·74	"

VII. Kapitel.

Galvanische Elemente und Akkumulatoren (Sekundärelemente).

Wir beschränken uns hier der Hauptsache nach auf eine kurze Übersicht der wichtigsten derartigen Systeme.

a) Elemente mit einer Flüssigkeit: Als Elektrode dienen gewöhnlich Zink und Kohle, der Elektrolyt besteht meist aus Schwefelsäure und Kaliumbichromat (Pabst verwendet eine Lösung von Eisenchlorid).

1. Chromelemente von Bunsen. Elektroden: amalgamiertes Zink und Kohle. Elektrolyt: 1 Gewichtsteil Kaliumbichromat, 2 Teile Schwefelsäure, 12 Teile Wasser. Statt des Kaliumbichromates kann man mit Vorteil das billigere Natriumbichromat benützen, der hier entstehende Natronchromalaun ist leichter löslich als der Kalichromalaun.

2. Trouvé-Element, ähnlich zusammengesetzt. Die Batterien enthalten gewöhnlich große Zink- und Kohlenplatten, deren meistens drei gleiche miteinander verbunden sind, so daß Elemente von großer Elektrodenfläche gebildet werden.

3. Grenet-Element (Flaschenelement). Es hat zwei Kohlen- und eine dazwischenliegende Zinkelektrode, die im Deckel des Elementes so befestigt sind, daß man sie leicht aus der Flüssigkeit herausheben (schieben) kann. Elektrolyt: 1000 Teile Wasser, 100 Teile Kaliumbichromat, 300 Teile Schwefelsäure.

4. Pabst-Element. Als Elektroden dienen mit Eisenoxyd präparierte Kohlen und Eisen. Letztere sollen 2—3 Jahre halten. Elektrolyt: 9—10%ige Eisenchloridlösung.

5. Pabst-Element anderer Konstruktion. Elektroden: Kohle mit Zinkoxyd präpariert und Eisen. Elektrolyt: Eisenchloridlösung. E = 1 bis 1·2 Volt.

b) Elemente mit zwei Flüssigkeiten: Die Elektroden bestehen meist aus Kupfer und Zink; als elektrolytische Flüssigkeiten dienen Kupfervitriol und verdünnte Schwefelsäure oder statt letzterer, Lösungen von Zinkvitriol, Bittersalz oder Kochsalz. Bei Verwendung von Zinkvitriol kann das Diaphragma wegfallen.

1. Daniell-Element: Kupfer | Kupfervitriol*) (Diaphragma) verdünnte Schwefelsäure | Zink.

2. Becquerel-Element: Kupfer | Kupfervitriol | Zinkvitriol | Zink.

3. Siemens-Element: Am Boden des Gefäßes liegt die Kupferelektrode, auf dieser befindet sich als Diaphragma eine Papiermasse, die zuerst mit konzentrierter Schwefelsäure, dann mit Wasser behandelt und schließlich stark ausgepreßt wurde. Auf dieser liegt die ringförmige Zinkelektrode. Durch die Papiermasse reicht ein Glas- oder Tonzylinder bis zur Kupferelektrode. Durch diesen mit Kupferstücken gefüllten Zylinder geht der Leitungsdraht von der Kupferelektrode. Man füllt mit reinem Wasser, dem in der Nähe des Zinkringes etwas Säure oder Kochsalz zugesetzt wird.

4. Calland-Element. Am Boden des Gefäßes befindet sich die Kupferelektrode in Kupfervitriollösung. Der angenietete Leitungsdraht ist mit Gutapercha überzogen. Die ringförmige Zinkelektrode hängt an drei Vorsprüngen des Glasgefäßes in einer Bittersalz- oder Zinkvitriollösung.

5. Krüger-Element. Wie das vorige, nur ist die Kupferelektrode durch eine Bleiplatte mit bleiernem Poldraht ersetzt.

---

*) Verschieden konzentriert.

6. Meidinger-Element. Am Boden des mit Bittersalzlösung gefüllten Gefäßes steht ein kleines Gefäß mit der Kupferelektrode, an der sich ein isolierter Poldraht befindet. In letzteres Gefäß ragt ein mit Kupfervitriolstücken gefüllter Trichter, so daß die Kupferelektrode stets in einer konzentrierten Kupfervitriollösung liegt. In der Bittersalzlösung steht eine Zinkelektrode.

Selten angewendet werden Elemente, die neben einer Zinkelektrode eine solche aus Platin, Kohle oder (passivem) Eisen besitzen. Die Lösungen sind Schwefelsäure und Salpetersäure (oder statt letzterer eine Mischung von Kalium- oder Natriumbichromat und Schwefelsäure).

7. Grove-Element: Platin | Salpetersäure | Tondiaphragma verdünnte Schwefelsäure | Zink.

8. Bunsen-Element: Kohle | Salpetersäure (Tonzylinder) verdünnte Schwefelsäure | Zink.

9. Hawkin-Element: Passives Eisen | konzentrierte Salpetersäure (Tondiaphragma) verdünnte Schwefelsäure | Zink.

10. Nelsmann-Element. Wie das vorige, nur statt des passiven Eisens siliciumhältiges Gußeisen.

11. Poggendorff-Element: Kohle | Kaliumbichromat und verdünnte Schwefelsäure (Tondiaphragma) verdünnte Schwefelsäure | Zink.

c) Elemente mit teilweise festen Salzen:

1. Element von Clark. Am Boden des Gefäßes liegt Quecksilber als Elektrode; darauf befindet sich eine dickflüssige Paste aus Mercurosulfat und konzentrierter Zinkvitriollösung, in welche der Zinkstab eintaucht. Ein durch ein Glasrohr isolierter Platindraht führt zum Quecksilber.

2. Element von Marié Davy: Kohle | Brei von Mercurosulfat | Wasser | Zink.

3. Element von Warren de la Rue. Die eine, aus Silberdraht hergestellte Elektrode ist von einem Zylinder aus geschmolzenem Chlorsilber umgeben; der Zinkzylinder taucht in Salmiaklösung.

4. Element von Pinkus. Ein kleiner mit pulverisiertem Chlorsilber gefüllter Becher dient als eine Elektrode; das plattenförmige Zink taucht in verdünnte Schwefelsäure oder in Kochsalzlösung.

5. Leclanché-Element: Die Kohlenelektrode steckt entweder in einem mit Braunstein gefüllten Tondiaphragma oder ist durch einen Braunsteinzylinder ersetzt (in welchem Falle das Ton-

diaphragma wegfällt). Das Zink taucht in Salmiaklösung. Der Braunsteinzylinder wird aus 40 Teilen Braunstein, 55 Teilen Gaskohle und 5 Teilen Schellack bei 100° C unter 300 Atmosphärendruck hergestellt.

6. Eddison-Element: Die negative Zinkelektrode taucht in Kali- oder Natronlauge. Die positive Elektrode, die in dieselbe Flüssigkeit taucht, besteht aus schwarzem Kupferoxyd, das durch Glühen von Kupferdrahtspänen gewonnen und zu harten Tafeln zusammengepreßt wird. Letztere sind in Kupferrahmen gefaßt. Der Widerstand ist gering, das Element soll recht konstant sein. Elektromotorische Kraft 0·9 Volt, nach langer Beanspruchung 0·7 Volt.

d) Trockenelemente.

1. Element von Scrivanoff. Am Boden des Elementes liegt die Kohlenelektrode, auf dieser eine Paste, dann kommt Asbest oder Löschpapier, und auf diesem liegt die Zinkelektrode. Die Paste wird erhalten, indem man 10 Teile Ammonium-Quecksilberchlorid, 3 Teile Kochsalz und $^1/_4$ Teil Chlorsilber zusammenschmilzt, nach dem Erkalten pulvert und mit Zinkchlorid zu einem Brei anmacht. $E = 1·5$ bis 1·6 Volt.

2. Element von Gaiffe. Zwischen den aus Silber- und Zinkplatten hergestellten Elektroden befinden sich Schichten von Chlorsilber und mit Zinkchloridlösung (1 : 10) getränktem Filtrierpapier.

3. Element von Dun. Die Elektroden (Kohle und Zink) stecken in einer Gelatine aus Stärkekleister und Ätznatron. Der Kohlenzylinder ist mehrfach durchbohrt, mit Kohlenstücken und Kaliumpermanganat gefüllt und von Pergamentpapier umgeben. Er wird noch mit Natronlauge gefüllt und oben mit Stärkegelatine und einer Lage Gips abgeschlossen. Die anfängliche Spannung des offenen Elementes (1·313 Volt) sinkt nach 20stündigem Stromschlusse auf etwa ein Volt.

4. Element von Gassner: Zink (Zinkoxyd + Gips) Kohle.

5. Element von Lessing. Es ist ein Leclanché-Trockenelement und besitzt dieselben Konstanten wie dieses.

e) Normalelemente.

1. Normalelement Daniell (Post office standard cell.): Amalgamiertes Zink | gesättigte Zinkvitriollösung (poröses Diaphragma) gesättigte Kupfervitriollösung | Kupfer. Wenn das Element außer Gebrauch ist, so stellt man das Diaphragma mit Kupfervitriol und Kupferelektroden in Wasser. $E = 1·07$ Volt.

2. Element von L. Clark. Es wurde schon früher beschrieben. E = 1·438 — 0·0010 (t — 15) Volt.

3. Element von Warren de la Rue: Silberdraht in geschmolzenem Chlorsilber | Pergamentpapier | Salmiaklösung, Zink. E = = 1·04 Volt.

f) Sekundärelemente oder Akkumulatoren.

Elektrisiert man angesäuertes Wasser zwischen Platinelektroden, so bedeckt sich die eine derselben mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff, und es entsteht somit schließlich ein System, das aus

Wasserstoff | angesäuertes Wasser | Sauerstoff

besteht, wobei also die Platinelektroden nur mehr zur Stromableitung dienen. Derartige Elemente nennt man Gaselemente; ihre elektromotorische Kraft ist jene der Gegenkraft, welche bei ihrer Herstellung durch Elektrolyse des ursprünglichen Systemes entstand (Polarisationsspannung*).

Für die freie Energie der Reaktion

$$H_2 + {}^1/_2\, O_2 \rightleftarrows H_2O$$

wurden folgende Gleichungen aufgestellt.

a) Haber und Moser:

$$A' = 57790 - 0{\cdot}87\, T . \ln T - 0{\cdot}00025\, T^2 -$$
$$- 4{\cdot}56\, T . \log \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}\, p_{O_2}^{1/2}} - 5{\cdot}95\, T.$$

b) Haber (mit Benützung der Langen'schen spezifischen Wärmen und der Daten von Nernst und Wartenberg über die Dissoziation des Wasserdampfes):

$$A'' = 57066 - 2{\cdot}974\, T \ln T + 0{\cdot}00125\, T^2 + 7{\cdot}6\, T -$$
$$- 4{\cdot}56\, T . \log \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}\, p_{O_2}^{1/2}}.$$

c) Nernst (Göttinger Nachrichten, 1906):

$$A''' = 57300 - 1{\cdot}75\, T \ln T - 0{\cdot}0003\, T^2 + 0{\cdot}457\, T -$$
$$- 4{\cdot}56 \log . \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} . p_{O_2}^{1/2}}.$$

---

*) Theorie dieser Ketten, siehe Jüptner: Lehrb. der phys. Chemie, II, 1, p. 91 und II, 2, p. 297 und Haber: Zeitschrift f. anog. Chemie, 51, p. 245, 289, 356 (1906).

Hieraus ergibt sich mit Hilfe des elektrothermischen Äquivalentes (0·239) und F = 96540 Coulomb, da zwei Äquivalentgewichte in Reaktion treten:

$$E = \frac{A}{0{\cdot}239 \times 2 . F} = \frac{A}{46220}.$$

Sämtliche drei Gleichungen geben gut übereinstimmende Werte wie nachfolgende Tabelle zeigt:

(wobei $\frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} . p_{O_2}^{1/2}} = 1$ gesetzt wurde).

Temperatur in Graden		Elektromotorische Kraft der Kette in Volt		
C	absolut	E_1	E_2	E_3
25	298	1·180	1·177	1·178
327	600	1·090	1·096	1·098
427	700	1·073	1·068	1·070
527	800	1·043	1·039	1·040
627	900	1·015	1·010	1·012
727	1000	0·986	0·981	0·981
827	1100	0·957	0·953	0·951
927	1200	0·928	0·924	0·920
1027	1300	0·898	0·895	0·889
1127	1400	0·869	0·865	0·857

Bei der Grove'schen Knallgaskette (25° C) betrugen die Partialdrucke

$$p_{O_2} = 0{\cdot}969 \text{ at}$$
$$p_{H_2} = 0{\cdot}969 \text{ „}$$
$$p_{H_2O} = 0{\cdot}031 \text{ „}$$

Es ist somit

$$\frac{p_{H_2O}}{p_{H^2} . p_{O_2}^{1/2}} = 0{\cdot}0325$$

und man erhält für diese Kette bei 25°

E_1	E_2	E_3	E (gefunden)
1·224	1·221	1·222	1·14 Volt

Die theoretischen Werte liegen somit erheblich höher, als die experimentell gefundenen.

Direkte Messungen von Haber ergaben:

t° C	Elektroden aus		Elektrolyt	
	Platin	Gold	Glas	Porzellan
330	1·167	—	—	—
445	—	—	1·204	—
450	—	—	1·167 — 1·155	—
470	1·164	1·165	—	—
570	1·143	1·151	—	—
800	—	—	—	1·092
860	—	—	—	1·098 — 1·104
1000	—	—	—	1·052
1100	—	—	—	0·994

Elemente, die erst nach einer Ladung mittels eines elektrischen Stromes wirksam werden, bei denen also der Polarisationsstrom ausgenützt wird, nennt man Sekundärelemente oder Akkumulatoren.

Der erste, der ein praktisch brauchbares Sekundärelement konstruierte, war Gaston Planté (1859). Elektrolysiert man verdünnte Schwefelsäure zwischen zwei Bleielektroden, so scheidet sich an der einen Wasserstoff ab, während an die andere SO_4 wandert und dort in SO_3 und O zerfällt. Ersteres gibt mit dem vorhandenen Wasser wieder H_2SO_4, während der Sauerstoff die Elektroden zu PbO_2 oxydiert.

Ist das Blei an jener Elektrode, an welcher der Wasserstoff zur Ausscheidung kommt, oberflächlich oxydiert, so wird dieses Oxyd zu Blei reduziert, während sich der Wasserstoff zu Wasser oxydiert. In dieser Weise verwandelt sich unser System schließlich in ein galvanisches Element von der Zusammensetzung:

Bleisuperoxyd | verdünnte Schwefelsäure | Blei,

dessen elektromotorische Kraft zwei Volt beträgt. In demselben vollzieht sich die Reaktion:

$$PbO_2 + Pb + 2\,H_2SO_4 = 2\,PbSO_4 + 2\,H_2O.$$

War die ursprünglich negative Bleielektrode blank, so beladet sie sich mit Wasserstoff und man erhält schließlich ein Element von der Zusammensetzung:

Bleisuperoxyd | verdünnte Schwefelsäure | wasserstoffbeladenes Blei,

dessen Spannung 2·4 Volt beträgt und in welcher sich die Reaktion

$$PbO_2 + H_2SO_4 + H_2 = PbSO_4 + 2\,H_2O$$

vollzieht.

Bei der Herstellung dieser Akkumulatoren, zu welchen 15—30%ige Schwefelsäure verwendet wurde, verfuhr Planté ursprünglich in folgender Weise: Nachdem durch einen Strom die positive Platte zu Bleisuperoxyd oxydiert und an der negativen Wasserstoff abgeschieden war, wurde der Strom umgekehrt, wodurch zunächst das Bleisuperoxyd in Sulfat verwandelt, schließlich aber Bleischwamm ausgeschieden wurde. Dieser Vorgang (Formieren des Akkumulators) wurde so lange wiederholt, bis eine genügende Auflockerung des Bleies erzielt war. Später gelangte man dazu, die zu diesem Zwecke erforderliche Zeit (von ein Jahr) durch eine mechanische Behandlung des Bleies auf 14 Tage abzukürzen.

Eine noch weitere Abkürzung des Formierens erzielte Faure dadurch, daß er auf der Bleiplatte mechanisch Bleiglätte oder Mennige befestigte. Dies erreicht man beispielsweise, indem man die Bleiplatten mit Rinnen versieht, in welche eine Mischung von Bleiglätte und Schwefelsäure (die erhärtet) eingestrichen wird (Sellon-Volkman) oder, daß man in die Hohlräume eines Bleigitters fein verteiltes Blei, das mit Wasser und Schwefelsäure angefeuchtet ist, einträgt. Da sich aber im Akkumulator chemische Vorgänge vollziehen, die mit Volumsänderungen verbunden sind, können sich von solchen Platten, wenn starke Ströme zur Anwendung kommen, Stücke ablösen. Dies zu vermeiden, streicht Tudor auf die mit Vertiefungen versehene Bleiplatte eine dünne Schicht des Miniumteiges, formiert, trägt eine neue dünne Schicht auf und fährt so fort, bis die Formierung vollendet ist.

Die bei Akkumulatoren verwendete Säure muß frei von Chlorverbindungen, Nitraten und fremden Metallen sein, da sonst die Bleiplatten sehr stark angegriffen werden.

Beim Laden sowohl als beim Entladen der Akkumulatoren soll eine gewisse Stromdichte (1 bis höchstens 2·6 Ampère pro 1 dm^2) nicht überschritten werden. Beim Laden zeigt sich anfangs eine elektromotorische Gegenkraft von 2·07 Volt, die langsam bis 2·20 und dann rasch auf 2·5 Volt ansteigt. Letzteres rührt daher, daß sich an der Hyperoxydplatte Überschwefelsäure bildet, die teilweise in Schwefelsäure und Sauerstoff zerfällt. Das Entweichen des letzteren (Kochen des Akkumulators) zeigt das Ende der Ladung an. Die andere Platte enthält (nach Darrieus) Wasserstoff absorbiert. Beim Entladen werden zunächst diese beiden, nur in geringer Menge vorhandenen Stoffe verbraucht, worauf die Hauptreaktion einsetzt und die elektromotorische Kraft auf etwa 2 Volt sinkt. Bei nicht zu energischer Stromentnahme sinkt die Spannung langsam auf 1·9 Volt und dann rascher auf 1·8 Volt.

Nun soll, um den Akkumulator zu schonen, keine weitere Stromentnahme mehr erfolgen. Geschieht dies doch, so sinkt die elektromotorische Kraft rasch.

Bei schneller Entladung wird der Grenzwert von 1·8 Volt früher, d. h. nach wenigen Ampèrestunden Stromverbrauch erreicht als bei langsamer Entladung. In letzterem Falle kann man dem Akkumulator also mehr Elektrizität entnehmen als in ersterem.

Die Anzahl Ampèrestunden (3–5 pro 1 dm^2 positiver Elektrodenfläche) nennt man seine Kapazität. Sie ist, wie aus dem obigen hervorgeht, für schwache Ströme größer als für starke. So hat man beispielsweise für eine Entladungsdauer

von 10 Stunden eine Kapazität von 140 Ampèrestunden
„ 3 „ „ „ „ 100 „

Als Wirkungsgrad eines Akkumulators bezeichnet man entweder das Verhältnis zwischen den Ampèrestunden, welche derselbe liefern kann, und jenen, welche bei seiner Ladung aufgewendet werden (82—94%), oder das Verhältnis der entsprechenden Energiemengen, meist in Wattstunden ausgedrückt (75—83%). Bei längerem unbenützten Stehen geht ein Teil der Ladung verloren.

Daß mit der Konzentration der Schwefelsäure die elektromotorische Kraft der Akkumulatoren steigt, ist nach dem Gesagten selbstverständlich. Die folgende Tabelle gibt einige diesbezügliche Werte:

Säuredichte	% H_2SO_4	g H_2O auf 1 Mol H_2SO_4 n	Dampfdruck p mm Hg	Elektromotorische Kraft E in Volt			
				berechnet		gefunden	
				aus p	aus q*)	Dolezalek	Streintz
1·496	58·37	69·88	0·796	2·27	2·23	2·29	—
1·415	50·73	95·16	1·438	2·18	2·16	2·18	2·20
1·279	35·82	175·58	2·900	2·05	2·05	2·05	—
1·140	19·07	415·8	4·150	1·93	1·94	1·94	1·92
1·028	3·91	2408·4	4·574	1·83	1·83	1·82	1·82

Die Akkumulatoren haben fast alle anderen galvanischen Elemente verdrängt; nur das Leclanché-Element ist dort, wo schwache Ströme von kurzer Dauer benötigt werden (wie für Telephon oder Klingeln) vorzuziehen.

Als Nachteile der Bleiakkumulatoren können die Weichheit des Bleies (das die Anwendung massiver Stücke nötig macht) und sein hohes spezifisches Gewicht, sowie seine leichte Angreifbarkeit

*) q = Verdünnungswärme der Schwefelsäure.

angeführt werden. Teilweise läßt sich dem durch Anwendung einer Legierung von Blei mit 4% Antimon (Julienmetall) abhelfen.

Von anderen nicht Blei enthaltenden Akkumulatoren möge nur der von Jungner-Eddison angeführt werden. Im geladenen Zustande enthält derselbe:

$$Fe \mid KOH \mid Ni_2O_3 . aq.$$

Bei der Entladung tritt folgende Reaktion ein:

$$Fe + 2\,Ni(OH)_3 \rightleftarrows Fe(OH)_2 + 2\,Ni(OH)_2,$$

beziehungsweise:

$$Fe + Ni_2O_3,\ n\,H_2O + x\,H_2O \rightleftarrows FeO,\ m\,H_2O + (NiO_2),\ x\,H_2O.$$

Seine normale Anfangsspannung beträgt 1·36 Volt.

Zusammenstellung verschiedener Elemente.

Name des Erfinders	Lösungs-elektrode	amalgamiert	nicht amalgamiert	Erregende Stoffe	H_2O	Depolarisierende Stoffe	H_2O	Ableitungs-elektroden	Volt	Ohm	Masse	Höhe, *cm*	Beobachter.	Kilogramm Meter	Sec. Gramm-Calorien
Smee	Zn	"	—	H_2SO_4	8	—	—	Ag, Pt	0·7 bis 1·2	0·5	—	—	—	—	—
Walker	"	"	—	"	7	—	—	C, Pt	0·9	1·0	—	—	—	—	—
Leclanché	"	"	—	NH_4Cl	10	MnO_2	—	C	1·481	—	—	—	Clark u. Sabine	—	—
Planté	Pb	—	—	H_2SO_4	10	PbO_2	—	Pb	2·5	—	—	—	Planté	—	—
Faure	"	—	—	"	10	"	—	"	2·2 2·0	0·008 0·015	8 Kg	24	Reynier, in 9fachem Widerstand entladen	4·4	—
Grove	Zn	"	—	"	4	rauchende HNO_3, D = 1·33	—	Pt	1·956	—	—	—	—	—	—
"	"	—	—	"	12	"	—	"	1·810	0·7	—	—	—	—	—
"	"	—	—	$ZnSO_4$	—	"	—	"	1·672	—	—	—	—	—	—
"	"	—	—	Salzwasser	—	"	—	"	1·904	—	—	—	—	—	—
Bunsen	"	"	—	H_2SO_4	?	HNO_3	—	C	1·734	—	—	—	Buff	—	—
"	"	"	—	"	?	"	—	"	1·80	0·24	rund	20	Reynier	0·344	0·796
"	"	"	—	"	—	"	—	"	1·80	0·06	länglich	20	"	1·378	3·189
Callan	"	"	—	"	?	"	—	Gußeisen	1·70	—	—	—	Buff	—	—
Poggendorff	"	"	—	—	?	Chromsalzmischung	— —	C	1·796	—	—	—	"	—	—
"	"	—	—	—	—	12 Bichromat 25 Schwefels.	100	"	2·028	—	—	—	Clark u. Sabine	—	—
Chuteaux	"	—	—	—	—	$K_2Cr_2O_7$	—	"	1·70	1·1—5	—	—	—	—	—
Daniell	"	"	—	H_2SO_4	4	$CuSO_4$	gesättigt	Cu	1·079	—	—	—	Clark u. Sabine	—	—

Name des Erfinders	Lösungs-elektrode	amalgamiert	nicht amalgamiert	Erregende Stoffe	H_2O	Depolarisierende Stoffe	H_2O	Ableitungs-elektroden	Volt	Ohm	Masse	Höhe, *cm*	Beobachter.	Kilogramm Meter	Sec. Gramm-Calorien
Daniell	Zn	„	—	H_2SO_4	10	$CuSO_4$	gesättigt	Cu	0·954	—	—	—	Regnault, Clark u. Sabine	—	—
„	„	„	—	„	12	„	„	„	0·978	—	—	—			
„	„	—	„	„	?	„	„	—	1·06	2·80	rund	20	Reynier	0·010	0·023
„	„	—	„	„	?	„	„	—	0·909						
„	„	„	—	„	?	$Cu(NO_3)_2$	„	—	1·001	—	—	—	—	—	—
„	„	„	—	NaCl	4	$CuSO_4$	„	—	1·061	—	—	—	—	—	—
„	„	—	„	$ZnSO_4$	—	„	„	—	0·901	—	—	—	—	—	—
W. Thomson	„	—	—	$ZnSO_4$ D = 1·10	—	—	—	—	1·06	—	12 dm^2	—	Reynier	0·143	0·331
Carré	„	—	—	H_2SO_4	—	—	—	—	1·06	0·12	rund, Pergamentzelle	60	„	0·238	0·551
Callaud	„	—	„	$ZnSO_4$	—	—	—	—	—	3·1 bis 4·5 bis 5	—	—	—	—	—
Meidinger	„	—	—	$ZnSO_4$ $MgSO_4$	—	—	—	—	—	4 bis 9	—	—	—	—	—
Reynier	„	—	—	Natronlauge m. Zus.	—	$CuSO_4$ mit Zusätzen	—	—	1·35	0·075	rechteckig Pergament	20	Reynier	0·619	1·440
Marié-Davy	„	—	—	H_2SO_4	12	Mercurosulfatbrei	—	C	1·527 1·20	—	—	—	Regnault	—	—
Clark	„	—	—	$ZnSO_4$	—	„	—	Hg	1·457	—	—	—	Clark u. Sabine Normalelement	—	—
Becquerel	„	—	—	„	—	$PbSO_4$	—	Pb	0·55	—	—	—	—	—	—
De la Rue	„	—	—	NH_4Cl	gesättigt	AgCl	—	Ag	1·059	—	—	—	Dumoncel	—	—
Duchemin	„	—	—	NaCl	—	$FeCl_3$	gesättigt	C	1·54	7·00	—	—	Eccher	—	—
Niaudet	„	—	—	„	4	Chlorkalk	„	„	1·65	—	—	—	Niaudet	—	—
Leroux	„	—	—	—	—	$MnO_2 + HCl$	—	—	1·70	—	—	—	Nacari	—	—

Autorenregister.

N.

O.

P.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Z.

Sachregister.

A.

B.

F.

K.

M.

N.

Q.

R.

S.

T.

U.

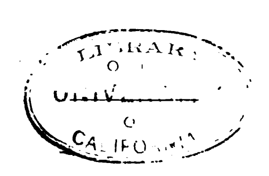
V.

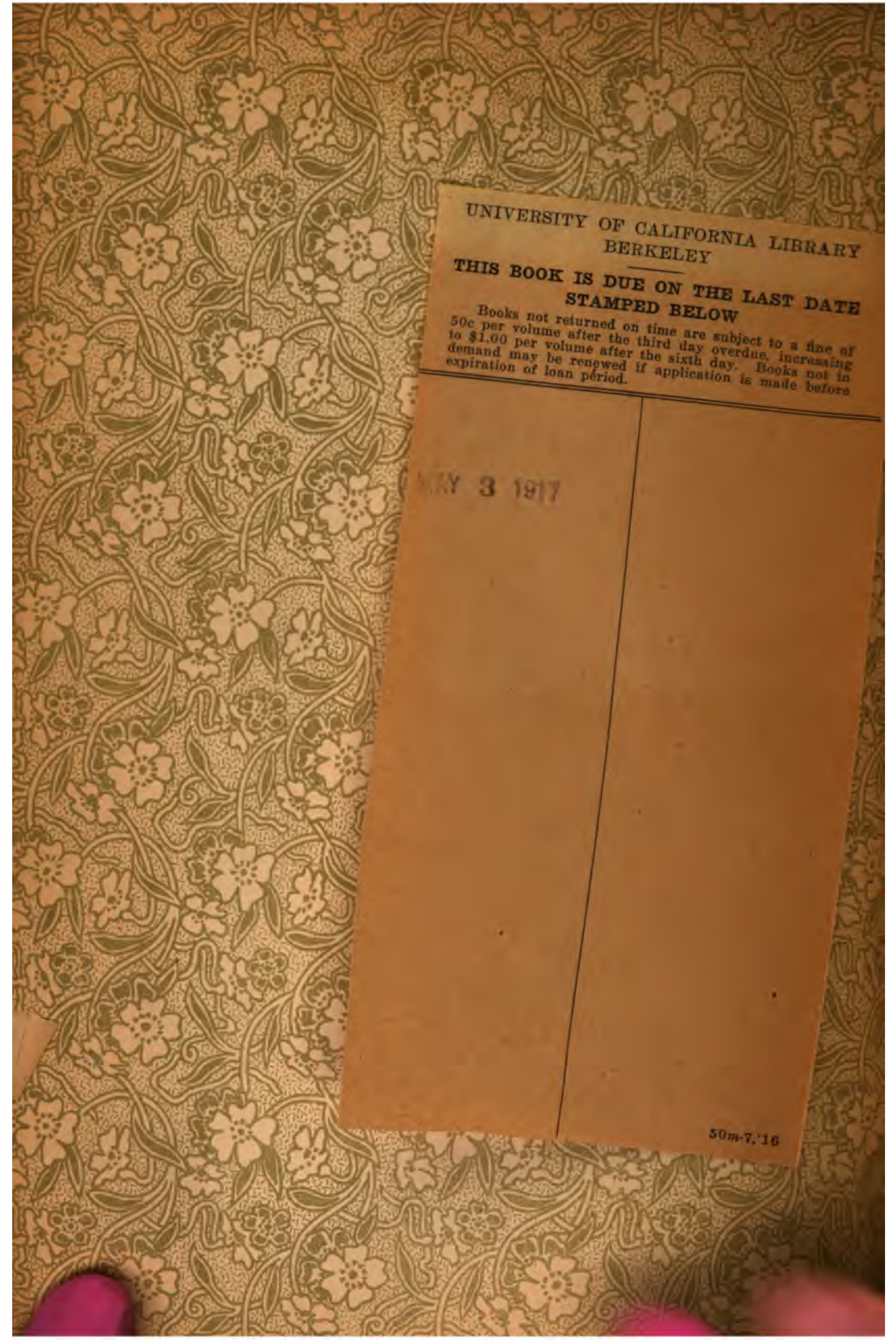
W.

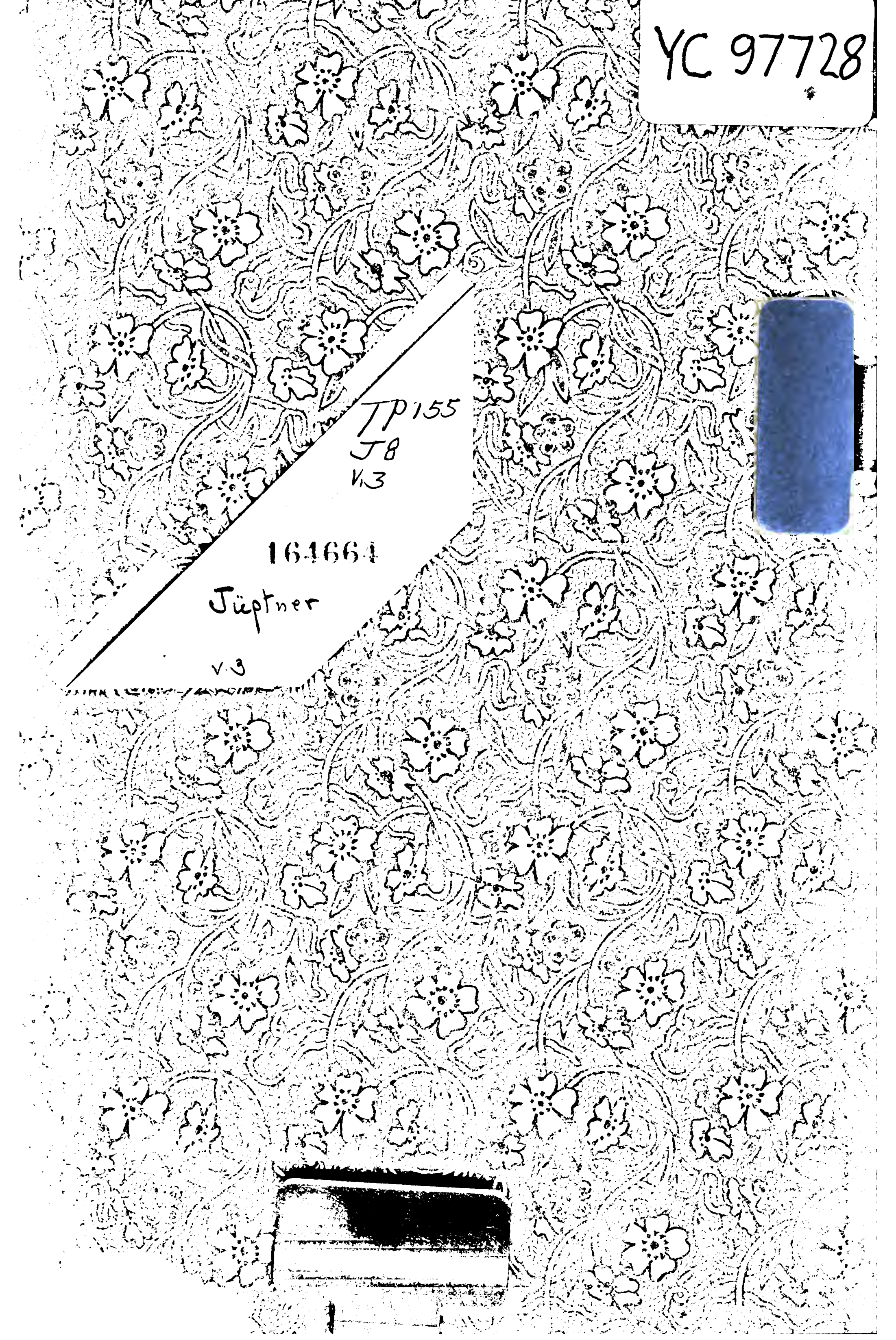
X.

Y.

Z.






YC 97728
TP155
J8
V.3
164664
Jüptner
V.3

